



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2024-2025

N° D'ORDRE : 123

CANDIDAT

Nom : SORO

Prénom : Chigata Lohona

THÈSE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Biotechnologie et Physiologie Végétale

PERFORMANCES AGROMORPHOLOGIQUES DE LIGNEES MUTANTS DE MAÏS ET INITIATION DE L'ANDROGENESE

JURY

- Président :** Mme TRAORÉ-OUATTARA Karidia, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ
- Directeur :** Mme YAPO-M'BIA Sopie Edwige-Salomé, Maitre de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ
- Rapporteur 1 :** Mme BEUGRE Manéhonon Martine, Maitre de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ
- Rapporteur 2 :** M. KONE Mongomaké, Professeur Titulaire,
Université Nangui ABROGOUA
- Examineur 1 :** M. KOKO Anauma Casimir, Maitre de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ
- Examineur 2 :** M. KOUAME Konan, Maitre de Conférences,
Université Péléforo GON COULIBALY

Soutenue publiquement le :
15 Mars 2025

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
DEDICACE.....	vi
REMERCIEMENTS	vii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES FIGURES.....	xiii
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	2
1- GÉNÉRALITÉS SUR LE MAÏS.....	7
1.1- Origine et distribution du maïs.....	7
1.2- Biologie de la plante.....	7
1.2.1- Systématique	7
1.2.2- Description de la plante.....	8
1.2.2.1- Morphologie du maïs.....	8
1.2.2.2- Feuille	10
1.2.2.3- Etude physiologique	10
1.2.2.4- Ecologie du maïs	10
1.3- Technique de culture du maïs.....	11
1.3.1- Système de culture du maïs	11
1.3.2- Préparation du sol et semis	11
1.3.3- De la germination à la formation des plants feuillés	11
1.3.5- Chronologie de la formation des fleurs, pollinisation et fécondation.....	12
1.3.6- Processus impliqués dans la reproduction sexuée du maïs.....	13
1.3.6.1- Floraison mâle	13
1.3.6.2- Description du grain de pollen.....	14
1.3.6.3- Composition du grain de pollen.....	15
1.3.6.4- Libération du grain de pollen : l’anthèse et la déhiscence	18
1.4- Dynamique d’émission du grain de pollen à l’échelle d’une plante et d’une parcelle de maïs.....	19
1.5- Inflorescence femelle : l’épi.....	20
1.5.1- Caractéristiques de l’épi	20
1.5.2- Stade de floraison femelle et l’émergence des soies	20
1.5.3- Dynamique d’émission des soies.....	21
1.5.4- Développement de l’épi à la maturité.....	21

1.6- Récolte et activités post-récoltes	22
1.7- Culture du maïs en Côte d'Ivoire	22
1.7.1- Variétés de maïs cultivé en Côte d'Ivoire.....	22
1.7.2- Problèmes lié à la culture du maïs	23
1.7.3- Maladies et ravageurs du maïs.....	24
1.7.3.1- Maladies physiologiques et abiotiques	24
1.7.3.2- Maladies biotiques	25
1.7.3.3- Ravageurs du maïs.....	25
1.7.3.4- Méthodes de lutte contre les ravageurs.....	26
1.8- Importances du maïs.....	26
1.8.1- Importance socio-économique du maïs.....	26
1.8.2- Importance nutritionnelle du maïs.....	27
1.8.2.1- Principaux composés chimiques.....	27
1.8.2.2- Différents types de sels minéraux du maïs	28
1.8.2.3- Vitamines.....	29
1.8.2.4- Composition en acides aminés du maïs	29
1.8.3- Importance médicale.....	30
1.9- Strategies d'amélioration du maïs	30
1.9.1- Description de l'amélioration	30
1.9.2- Création d'une lignée.....	31
1.9.3- Sélection génétique classique ou conventionnelle.....	31
1.9.4- Méthode des rayonnements	33
1.9.5- Mutation.....	33
1.9.6- Différents types de rayonnements	34
1.9.6.1- Rayonnement alpha (α).....	34
1.9.6.2- Rayonnement bêta (β).....	34
1.9.6.3 - Rayonnement gamma (γ)	34
1.9.6.4- Rayonnement X	34
1.9.6.5- Rayonnement neutronique	35
1.10- Effets des radiations ionisantes	35
1.10.1- Notion de radiosensibilité chez les végétaux.....	35
1.10.2- Effets morphologiques.....	35
1.11- Quelques résultats obtenus sur les mutations	36
2- GESTION DES GRAINS DE POLLEN	37
2.1- Conservation du grain de pollen <i>in vitro</i>	37

2.2- Méthodes de conservation du grain de pollen.....	38
2.2.1- Conservation à court terme.....	38
2.2.2- Conservation à long terme.....	40
2.2.3- Facteurs influençant la conservation du grain de pollen.....	40
2.3- Tests de viabilité du grain de pollen.....	41
2.4- Méthodes de test de viabilité du grain de pollen.....	41
2.4.1- Observation directe au microscope.....	41
2.4.2- Coloration.....	41
2.5- Germination du grain de pollen.....	42
3- GÉNÉRALITÉS SUR ANDROGENÈSE.....	43
3.1- Définition et principe.....	43
3.2- Étapes de l'androgenèse.....	43
3.3- Facteurs influençant l'androgenèse.....	43
3.4- Applications de l'androgenèse.....	44
3.4.1- Amélioration des plantes.....	44
3.4.2- Rôles de l'androgenèse.....	44
3.5- Double haploïde par androgenèse.....	45
3.5.1- Techniques de Culture.....	45
4- Zone d'étude.....	46
4.1- Localisation.....	46
4.2- Climat.....	47
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	49
1- ÉVALUATION AGROMORPHOLOGIQUE DE 14 LIGNÉES DE MAÏS OBTENUES APRÈS AUTOFÉCONDATIONS DES GRAINES DE LA VARIÉTÉ EV8728 IRRADIÉE AU RAYONNEMENT GAMMA.....	51
1.1- Matériel.....	51
1.1.1- Matériel Végétal.....	51
1.1.2- Matériel technique.....	54
1.2- Méthodes.....	54
1.2.1- Mise en place de l'essai.....	54
1.2.2- Dispositif expérimental.....	54
1.2.3- Mise en place du système d'irrigation goutte à goutte.....	56
1.2.4- Phase de semis.....	56
1.2.5- Entretien et amendement de la parcelle.....	57
1.2.6- Autopollinisation.....	57
1.2.7- Paramètres mesurés.....	57

1.2.7.1- Paramètres de croissance	57
1.2.7.2- Paramètres de floraison.....	59
1.2.7.3- Paramètres de production	59
1.3- Traitement et analyse statistique des données.....	60
2- INITIATION À L'ANDROGENÈSE.....	61
2.1- Matériel Végétal	61
2.2- Méthodes	61
2.2.1- Préparation, semis et entretien des cultures	61
2.2.2- Recherche de conditions optimales pour la conservation des grains de pollen	62
2.2.2.1- Collecte des grains de pollen	62
2.2.2.2- Conservation des grains de pollen collectés	62
2.2.2.3- Test de viabilité des grains de pollen de départ et après conservation	62
2.2.2.4- Paramètres de mesure	63
2.2.3- Phase d'initiation de l'androgenèse : recherche de conditions optimales de germination <i>in vitro</i> des grains de pollen	63
2.2.3.1- Préparation du milieu de culture.....	63
2.2.3.2- Préparation et stérilisation du grain de pollen	63
2.2.3.3- Mise en culture et détermination des effets de facteurs sur la germination <i>in vitro</i> des pollens.....	65
2.2.3.4- Paramètres mesurés	66
2.3- Traitement et analyse statistique des données.....	66
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION	80
1- CARACTERISTIQUES AGROMORPHOLOGIQUES DE 14 LIGNÉES DE MAÏS OBTENUES APRÈS AUTOFÉCONDATIONS DES GRAINES DE LA VARIÉTÉ EV8728 IRRADIÉE AU RAYONNEMENT GAMMA.....	68
1.1- Résultats	68
1.1.1- Caractérisation descriptive des paramètres étudiés	68
1.1.2- Comparaison des paramètres de levées et de croissance des lignées étudiées	69
1.1.3- Comparaison des paramètres phylogéniques des lignées étudiées	72
1.1.4- Structuration de la diversité des lignées étudiées	75
1.1.5- Statistiques descriptives des paramètres de floraison des lignées de maïs issues de la 5 ^e génération.....	78
1.1.6- Comparaison des paramètres de floraison entre les lignées de maïs étudiées.....	78
1.1.7- Paramètres de production des lignées de maïs issues de la 5 ^e génération	80
1.1.7.1- Statistiques descriptives des paramètres de production.....	80
1.1.7.2- Comparaison des paramètres de production entre différentes lignées de maïs étudiées	81

1.1.7.3- Corrélation entre les différentes variables de la production des lignées de maïs	85
1.1.7.4- Visualisation des différences entre les lignées de maïs par ACP portant sur les paramètres de production	87
1.1.7.5- Regroupement des individus par classification hiérarchique ascendante.....	87
1.2- Discussion	89
1.3- Conclusion partielle.....	97
2- INITIATION À L'ANDROGÉNÈSE.....	99
2.1- Effet de l'heure de la journée sur la viabilité du grain de pollen de maïs avant stockage	99
2.2- Effet de la température et de la durée de stockage sur la viabilité du grain de pollen	100
2.3- Effet de la concentration de saccharose sur la germination <i>in vitro</i> de grain de pollen de maïs.....	104
2.4- Effet du pH sur la germination <i>in vitro</i> des grains de pollen	105
2.5- Effet de la température d'incubation sur la germination <i>in vitro</i> des grains de pollen	105
2.6- Effet de la durée d'incubation sur la germination du grain de pollen.....	106
2.7- Discussion	107
2.8-Conclusion partielle.....	111
CONCLUSION GÉNÉRALE	113
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	111
ANNEXES	
PUBLICATIONS	

DEDICACE

Je dédie ce mémoire

A

COULIBALY KROTOUMOU ma maman chérie qui a toujours pris soin de nous et pour toutes ses prières.

A

OUSMANE SORO mon père pour son écoute, ses conseils et son soutien.

REMERCIEMENTS

Je ne peux présenter ce travail de Thèse de Doctorat sans exprimer ma gratitude à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation. Je souhaiterais, avant tout remercier :

- Professeur **ADOHI Krou Viviane**, Professeur Titulaire, Présidente de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ (UJLoG), pour avoir accordé son autorisation à ma soutenance publique de thèse ;
- Professeur **TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE**, Professeur Titulaire, ex Présidente de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ, pour avoir autorisé mon inscription en Thèse au sein de l'université ;
- Professeur **KONÉ Tidiani**, Professeur Titulaire, ancien Vice-Président chargé de la pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ, pour ses encouragements ;
- Professeur **SORO Dogniméton**, Professeur Titulaire et Vice-Président en charge de la pédagogie, de la vie universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique à l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ, qui a été d'une grande aide pour ce travail. Je lui exprime ma profonde gratitude pour l'attention qu'il y a porté. Votre soutien m'a insufflé motivation, courage et ambition. Votre disponibilité, votre rigueur scientifique, votre dévouement et, surtout, la confiance que vous m'avez témoignée ont été déterminants dans la réalisation de ce projet dans les meilleures conditions ;
- Professeur **AKAFFOU Doffou Sélastique**, Professeur Titulaire, ancien Vice-Président chargé de la planification, de la programmation et des relations extérieures de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ. Je lui suis reconnaissant pour ses recommandations, ses encouragements et son appréciation de la pertinence de ce projet depuis ses débuts ;
- Professeur **KONÉ Issiaka**, Professeur Titulaire, Vice-Président en charge de la planification, de la programmation et des relations extérieures à l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ pour ses encouragements.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à Professeur **KOUADIO Yatty Justin**, Professeur Titulaire et coordonnateur du projet AIEA maïs à l'Université Jean LOROUGNON

Remerciements

GUÉDÉ, qui m'a accueilli dans son laboratoire. Je lui suis reconnaissant pour sa disponibilité, son humilité, ses encouragements, ses critiques constructives, ainsi que sa rigueur et ses suggestions pertinentes, qui ont été essentielles à la réussite de ce projet. Je tiens également à le remercier pour son soutien moral, financier et matériel, ainsi que pour sa présence inestimable, agissant véritablement comme un père pour ses étudiants ;

Je remercie Professeur **AYOLIE Koutoua**, Directeur du Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole (LPA) de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ, pour sa rigueur, son dévouement, sa disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme, son optimisme, ainsi que ses précieux conseils scientifiques, professionnels et humains, qui ont été des atouts précieux pour mon apprentissage.

J'associe à ces remerciements le Docteur TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences et ancienne Directrice de l'UFR Agroforesterie, pour ses conseils et encouragements.

Je tiens également à remercier le Docteur KOUASSI Clément, Maître de Conférences et actuel Directeur de l'UFR Agroforesterie, pour ses précieux conseils et encouragements.

Je tiens à remercier Madame **YAPO-M'BIA Sopie Edwige-Salomé**, Maître de Conférences en Biotechnologie et physiologie végétale, pour avoir accepté de superviser cette thèse. Sa rigueur, son dévouement, sa disponibilité constante, son ouverture d'esprit, son dynamisme, son optimisme, ainsi que ses précieux conseils scientifiques, professionnels et humains ont été extrêmement bénéfiques pour moi. De plus, son engagement pour l'avancement des travaux et sa détermination à les mener à bien rapidement ont constitué un véritable réconfort durant les périodes difficiles.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit des membres du jury :

- Madame TRAORE-OUATTARA Karidia, Professeur titulaire, pour avoir accepté de présider ce jury ;
- Madame BEUGRE Manéhonon Martine, Maître de Conférences, pour avoir accepté d'instruire ce mémoire et de faire partie du jury en tant que rapporteur ;
- Monsieur KONE Mongomaké, Professeur titulaire, pour avoir accepté d'instruire ce mémoire et de faire partie du jury en tant que rapporteur ;

Remerciements

- Monsieur KOKO Anauma Casimir, Maître de Conférences, pour avoir accepté de prendre part au jury en tant qu'examineur ;
- Monsieur KOUAME Konan, Maître de Conférences, pour avoir accepté de prendre part au jury en tant qu'examineur.

Que Professeur **TRAORÉ Karidia**, Professeur titulaire, Directrice de l'institut des métiers du bois, qui s'était impliquée personnellement pour que j'obtienne l'autorisation d'inscription en thèse à UJLoG trouve ici la preuve de ma reconnaissance.

Je souhaite exprimer ma gratitude à Docteur KANGA Ahou Nadia, et Docteur KOUADIO Akesse Blaise, Assistants en physiologie végétale, pour leurs conseils, leurs critiques, leurs joies, leurs fraternités et leurs encouragements.

Je remercie vivement Docteur **OUATTARA Tièba**, Assistant, Docteur en physiologie végétale, pour son soutien inestimable, sa collaboration, sa grande disponibilité et son apport lors de la rédaction. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les doctorants, **KOUADIO Kouamé Léonard**, **KONE Sié Kissomanbien**, **NENE Bi**, **KOFFI Tahia Jean Yves**, **KOUADIO N'gbé Ange Emmanuella** et **OUATTARA Soumaila**, pour leurs aides, disponibilité, conseils ainsi que pour leur amitié, fraternité et soutien durant tous les travaux.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ABA : Acide Abscissique

ACP : Analyse en composantes principales

ADN : Acide Désoxyribonucléique

AIA : Acide Indole-3-Acétique

AIB : Acide IndolylButyrique

AIEA : Agence Internationale de l'Énergie Atomique

ANA : Acide 1-naphthalène acétique

ANOA : Acide NaphtylOxyAcétique

ANOVA : Analyse de Variance

BAP : 6-Benzylaminopurine

CAH : Classification ascendante hiérarchique

CIC : Conseil International des Céréales

CNAD : Comité national d'alimentation et de développement

CNRA : Centre National de Recherche Agronomique

CUSSTR : Commission Universitaire pour la Santé et la Sécurité au Travail Romande

DC : Diamètre au Collet

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

HD : Double Haploïdes

HIE : Hauteur d'insertion de l'épi

HP : Hauteur de la Plante

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

ISV : Indice de Sensibilité à la Verse

JAS : Jours Après le Semis

LagF : Largeur de la feuille

LngF : Longueur de la Feuille

MRM : Milieu de Régénération des Microspores

NTG : Nombre total de grains semés

NTPL : Nombre total de plants levés

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés

QTL : Locus de Caractères Quantitatif

RI : Rayonnement ionisant

SF : Surface Foliaire

TL : Taux de Levée

TU : Temps Universel

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I : Composition en vitamines de grain de pollen (Campos <i>et al.</i> , 2008),.....	17
Tableau II : Caractéristiques des semences de maïs en Côte d’Ivoire (CNRA, 2006).....	23
Tableau III : Composition chimique des principales parties des grains de maïs (Gnagne <i>et al.</i> , 2021).	28
Tableau IV : Teneurs en matières minérales du grain de maïs (Luven, 1999).....	28
Tableau V : Composition du milieu YP modifié.....	64
Tableau VI : Statistiques descriptives des paramètres agromorphologiques étudiés au niveau des lignées de maïs issues de la 5 ^e génération	69
Tableau VII: Paramètres de levée et de croissance des lignées de maïs EV8728 issues de la 5 ^e génération.....	71
Tableau VIII: Quelques paramètres phylogéniques des lignées de maïs EV8728 issues de la 5 ^e génération.....	74
Tableau IX : Matrice de corrélation (Pearson) entre les variables quantitatives caractérisant les lignées de maïs	75
Tableau X : Statistiques descriptives des variables de floraison des lignées de maïs issues de la 5 ^e génération.....	78
Tableau XI : Valeurs moyennes des paramètres de floraison étudiés en fonction des différentes lignées de maïs blanc et rouge.	80
Tableau XII: Analyse statistique descriptive des paramètres de production des différentes lignées de maïs étudiées.....	81
Tableau XIII : Valeurs moyennes des paramètres de production des différentes lignées de maïs	84
Tableau XIV: Corrélation entre les caractères de production des lignées de maïs issues de la 5 ^e génération.....	86
Tableau XV : Influence de la durée de conservation, de la température et de la période d'échantillonnage sur la viabilité du grain de pollen (%).	103

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1: Morphologie d'un pied de maïs	9
Figure 2 : Diversité de couleur, de forme et de taille que peuvent avoir les épis de Maïs.....	9
Figure 3 : Schéma d'un épillet mâle chez le maïs	13
Figure 4 : Panicule de <i>Zea mays</i> et structure de grain de pollen	14
Figure 5 : Apex d'une anthère au début de la déhiscence	18
Figure 6: Schéma d'un épi de maïs au stade de la floraison	20
Figure 7: Localisation géographique du site d'étude	47
Figure 9 : Diagramme ombrothermique de la zone de Daloa de 1991 à 2020.....	48
Figure 10 : Semences mères de la variété EV8728 non irradiées T _{0D0}	51
Figure 11 : Semences des lignées de couleur blanche étudiées	52
Figure 12 : Semences des lignées de couleur rouge étudiées.....	53
Figure 13 : Phase de semis	56
Figure 14 : Grains de pollen fraîchement récoltés	61
Figure 15 : Collecte des grains de pollen sur les panicules.....	62
Figure 16: Projection des caractères agro-morphologique des lignées sur le plan factoriel F1 x F2	76
Figure 17: Classification des lignées de maïs en fonction des paramètres de croissance	77
Figure 18 : Cercle de corrélation entre les variables des individus.....	88
Figure 19 : Arbre hiérarchique des lignées de maïs issues de la 5 ^e génération en tenant compte des paramètres de production	88
Figure 20: Viabilité du grain de pollen de maïs en fonction de l'heure de récolte.....	99
Figure 21 : Microphotographie des grains de pollen viable et non viable de EV8728 à basse température	100
Figure 22: Germination <i>in vitro</i> de grains de pollen de maïs, grain de pollen de EV8728....	104
Figure 23 : Influence de la concentration de saccharose sur la germination <i>in vitro</i> des grains de pollen de EV8728 non irradié	104
Figure 24 : Effet du pH sur la germination <i>in vitro</i> des grains de pollen de EV8728 non irradié	105
Figure 25 : Influence de la température d'incubation sur la germination <i>in vitro</i> des grains de pollen de EV8728 non irradié	106

Figure 26 : Capacité de germination du grain pollen de EV8728 non irradié en fonction du
temps d'incubation 106

INTRODUCTION

Le maïs (*Zea mays* L.) est une plante tropicale herbacée annuelle, de la famille des Poacées (Graminées). C'est une graminée monoïque qui présente une grande diversité morphologique entre ses variétés (Doebley & Iltis, 1980).

Cette plante, à caractère religieux dans la civilisation précolombienne, est, aujourd'hui, un symbole de l'agriculture intensive. La transformation de la téosinte en maïs fut initiée il y a environ 8000 ans par les Amérindiens de l'actuel Mexique (Galinat, 1992). Cette domestication, très spectaculaire au regard de la grande divergence entre l'espèce sauvage et l'espèce domestique, a conduit à son adoption dans l'agriculture. Le maïs cultivé, aujourd'hui, résulte de cinq siècles d'amélioration par la technique de mutation induite, initiée par l'homme, telle que l'utilisation des mutagènes physiques et des mutagènes chimiques (Spenser *et al.*, 2020). Ce processus de sélection a permis d'adapter cette plante aux différents climats et usages, d'accroître sa résistance et d'optimiser sa productivité. Elle est la base de l'alimentation, pour de nombreuses populations et aussi une matière première de choix, recherchée par les transformateurs industriels. Les techniques modernes d'hybridation, telles que l'Hybridation conventionnelle, l'Hybridation assistée par marqueurs, l'Hybridation somatique, l'Hybridation interspécifique, ont permis d'apporter des améliorations considérables durant le XX^e siècle, telles que l'augmentation des rendements, l'amélioration de la résistance aux maladies et aux ravageurs, l'adaptation à des conditions environnementales défavorables (James, 2011).

Le maïs est la céréale la plus cultivée au monde, avec une production de grains d'environ 1,2 milliard de tonnes (Mt), devançant légèrement celle du riz et du blé sur une superficie de 201 millions d'hectares (Fao-stat, 2022). Le monopole du marché mondial du maïs est détenu par les États-Unis avec une production de 350 millions de tonnes, soit 32 % de la production mondiale, suivi de la Chine avec 23 % de production (Fao-stat, 2023). Cette culture est utilisée à la fois pour l'alimentation humaine et animale, notamment pour les volailles, les porcs et les bovins, ainsi que, pour la fabrication de certains produits dans les industries brassicoles, savonnières et huilières (Boone *et al.*, 2008). La production de maïs sert à 60 % pour l'alimentation animale et à 40 % pour l'alimentation humaine. Cette céréale est la plus énergétique grâce à ses atouts nutritifs tels que les hydrates de carbone comme l'amidon et le sucre, les protéines, les graisses ou les huiles présentes dans l'embryon, ainsi que les éléments minéraux et les vitamines. Le taux d'amidon peut varier de 60 à 80 % selon le type de grain, denté, dur ou cireux (Sen, 2020).

En Afrique, la production de maïs est estimée à plus de 90 millions de tonnes pour une superficie de plus de 40 millions d'hectares. C'est la culture alimentaire de base la plus largement pratiquée en Afrique sub-saharienne (ASS). La culture couvre presque 17 % des

quelques 200 millions ha des terres cultivées en Afrique sub-saharienne (Fao-stat, 2022). Sa culture s'adapte à divers contextes de production, ce qui la rend accessible à une large gamme de consommateurs, quelles que soient leurs préférences alimentaires et leur situation socio-économique. On estime que plus de 300 millions de personnes en ASS dépendent du maïs, comme, source d'alimentation et de subsistance (Marcos *et al.*, 2024)

En Côte d'Ivoire, le maïs constitue l'un des bases du régime alimentaire des populations rurales. Selon les statistiques de la FAO en 2022, la production nationale de maïs était estimée à 1 175 775 tonnes, pour une superficie totale emblavée de 558 406 hectares, avec un rendement de 2,1 t/ha. Le maïs, produit de subsistance d'autrefois, est désormais, objet de spéculation agricole en Côte d'Ivoire, en raison de ses enjeux économiques de plus en plus importants. En effet, le maïs présente des avantages économiques, du fait de la facilité de production, de récolte et de stockage (Boone *et al.*, 2008).

La culture du maïs, importante pour la sécurité alimentaire de nombreuses régions, est confrontée à des défis majeurs qui compromettent sa productivité. Parmi ces défis, on peut citer le changement climatique, avec le raccourcissement de la saison des pluies, la diminution des précipitations qui exercent une pression considérable sur les cultures de maïs, notamment le stress hydrique. De plus, la baisse de la fertilité des terres, résultant de la dégradation des sols due à une utilisation intensive et à des pratiques agricoles inappropriées (jachères courtes, absence de rotation des cultures), réduit le potentiel productif des parcelles cultivées (Akanvou *et al.*, 2006).

Par ailleurs, les ravageurs et les maladies, tels que le Striga, contribuent, également, aux défis auxquels est confrontée la culture du maïs, affectant significativement les rendements et la qualité des récoltes (N'da *et al.*, 2013). En outre, le manque de moyens des agriculteurs, en particulier des petits exploitants agricoles, souvent peu formés et disposant de ressources limitées, entrave la mise en place de pratiques agricoles durables et l'acquisition des semences améliorées (Bouagnimbeck & Ssebunya 2021). Ces contraintes, agissant de manière synergique, réduisent considérablement les rendements et la rentabilité de la culture du maïs, mettant ainsi en péril la sécurité alimentaire des populations (Weyens *et al.*, 2012).

Pour relever le défi d'amélioration de la production et d'apporter des solutions durables à la sécurité alimentaire, la Côte d'Ivoire, à travers le projet IVC5035 financé par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), vise à développer des variétés de maïs adaptées aux conditions pédoclimatique du nord du pays. Ce projet met en œuvre différentes approches, telles que la mutation induite par rayonnement gamma et l'androgenèse.

L'utilisation de l'androgenèse en sélection présente de nombreux avantages, particulièrement dans le cas de la sélection récurrente. Cette méthode permet d'utiliser la technologie des haploïdes doublés (HD) pour créer des lignées pures plus rapidement. Ainsi, on peut choisir plus facilement les meilleures plantes à croiser pour obtenir une nouvelle génération améliorée (Oury *et al.*, 2020). Plusieurs chercheurs ont rapporté des variétés double haploïde pure et à haut rendement. Les travaux de Mizanur *et al.* (2022), à partir de la culture *in vitro* des anthères de riz, avec l'application de doublage de chromosomes, ont obtenu des lignées homozygotes et à haut rendement. Guan *et al.* (2024) ont utilisé des techniques d'hybridation et de culture d'embryons, avec l'application du double haploïde, pour produire des lignées homozygotes pures de blé. Dans le cas du maïs, les travaux pionniers de Maluszynski (2003) ont souligné l'importance de la colchicine dans la production de plants double haploïdes fertiles, ouvrant la voie à des avancées significatives dans l'obtention de variétés à haut rendement.

Face à ces avancées significatives, l'étude se concentre sur l'exploitation deux techniques de sélection, à la fois en milieu *in vivo* et *in vitro*, dans le but de les intégrer efficacement dans les programmes de sélection de maïs.

L'objectif général de cette étude est d'améliorer la productivité du maïs en Côte d'Ivoire par des méthodes innovantes.

De façon spécifique, il s'agira de :

- caractériser les mutants de maïs de la cinquième génération de la variété EV8728, à partir des descripteurs agro-morphologiques ;
- déterminer les conditions de conservation idéales pour le grain de pollen, afin d'initier l'androgenèse.

Pour atteindre ces objectifs, deux (2) hypothèses ont été définies :

- la variabilité morphologique des mutants de maïs, de la cinquième génération de la variété EV8728, présenterait des caractéristiques agro-morphologiques utiles pour la sélection des lignées ;
- des conditions de conservation optimisées du grain de pollen maintiendraient sa viabilité et contribueraient à leur taux élevé de germination *in vitro*.

La première partie de ce travail est consacrée à une revue bibliographique. Elle aborde les généralités sur le maïs, incluant sa biologie, son importance et les approches utilisées pour

développer de nouvelles variétés. La deuxième partie, consacrée aux expérimentations comprend l'évaluation agromorphologique de 14 lignées de maïs obtenues après autofécondations des graines de la variété EV8728 irradiée au rayonnement gamma et l'initiation à l'androgenèse. La troisième partie est consacrée aux résultats et à leur discussion. Cette dernière débouche sur les conclusions les plus significatives des différents aspects de ce travail ainsi que les perspectives.

PREMIÈRE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1- GÉNÉRALITÉS SUR LE MAÏS

1.1- Origine et distribution du maïs

Bien que de multiples hypothèses aient été avancées, concernant l'origine du maïs (*Zea mays*), la théorie selon laquelle la téosinte est l'ancêtre du maïs est étayée par de nombreuses preuves issues de la biologie moléculaire (Gay, 1984). En effet, l'histoire du maïs remonte à environ 9000 ans au Mexique, dans la vallée de Rio Balsas, où, la téosinte, une plante adaptée au climat tropical et humide de cette région, a été cultivée (Gnis, 2015). L'évolution de la téosinte en maïs s'est produite, à la fois, naturellement, par le biais de mutations génétiques, et grâce à la sélection par l'homme (Bassaler, 2000). Originaire d'Amérique du Sud, le maïs était la base de l'alimentation des peuples amérindiens avant la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb (Carraretto, 2005). Aussi, connu sous le nom de blé d'Inde au Canada, le maïs est une plante herbacée annuelle, largement cultivée, comme, céréale, pour ses grains riches en amidon, mais, également, comme, plante fourragère (Boukar *et al.*, 2017). Cette plante était vénérée dans les anciennes civilisations d'Amérique centrale et du Sud. Aujourd'hui, le maïs est cultivé dans le monde entier, et est devenu la première céréale mondiale, dépassant le riz et le blé (Carraretto, 2005).

Cette culture a été introduite en Afrique, en Égypte vers 1540, par les Turcs et les Syriens, puis, dans la région du Golfe de Guinée, par les Portugais, vers 1550 (Tostain, 2018). En Côte d'Ivoire, les régions les plus importantes, en termes de production de maïs, se situent dans le Nord et le Nord-Ouest du pays. Longtemps considéré comme une culture secondaire en zone de forêt, le maïs n'a véritablement connu son essor qu'à partir des années 1950, avec l'arrivée de population originaires du Nord du pays (Demont, 1997). Par la suite, les migrations interrégionales et la politique nationale de diversification des cultures ont conduit à la formation de nombreux autres centres de production. Depuis 1995, d'immenses champs de maïs sont cultivés à travers tout le pays (Amani, 2019), témoignant de l'expansion continue de cette culture.

1.2- Biologie de la plante

1.2.1- Systématique

Le maïs est une plante annuelle herbacée qui se distingue par un développement limité, voire l'absence, de talles. Il fait partie de la famille des Graminées, plus précisément du genre *Zea*. Cette plante monoïque se caractérise par une grande diversité morphologique de ses

différentes variétés. Plante monocotylédone appartenant à la famille des Poacées (Doebley & Iltis, 1980). Il est classé comme suit :

Règne : Végétal

Embranchement.: Phanérogames

Sous-embranchement..... : Angiospermes

Classe..... : Monocotylédones

Ordre.....: Poales

Famille : Poaceae

Genre..... : *Zea*

Espèce : *Zea mays* L.

1.2.2- Description de la plante

1.2.2.1- Morphologie du maïs

Le maïs est une plante herbacée annuelle dont la hauteur varie et dont la tige est unique. Elle a une tige large, pleine, lignifiée, formée de plusieurs entre-nœuds espacés d'une vingtaine de centimètres (Figure 1). Les variétés cultivées mesurent généralement entre 1 et 3 mètres de haut. Le système racinaire du maïs se compose d'un grand nombre de racines adventives qui se développent aux nœuds de la base de la tige. Il se distingue par la présence de racines traçantes, également appelées racines de surface, qui absorbent l'eau et les nutriments nécessaires à la plante à partir des couches supérieures du sol. Cette stratégie d'exploitation des ressources du sol rend le maïs très exigeant en azote et en eau, ce qui est essentiel pour obtenir des rendements élevés. Les feuilles sont opposées au niveau de chaque nœud, avec des limbes allongés et des nervures parallèles. Toutes les plantes possèdent entre 15 et 20 feuilles, grandes (10 cm de largeur et 1 m de longueur), alternant de part et d'autre de la tige (GNIS, 2015). Le maïs est une espèce qui se reproduit par pollinisation croisée, avec les inflorescences femelles (épis) et les inflorescences mâles (panicules) situées à des endroits distincts sur la plante. Chaque tige porte généralement un épi, composé de 12 à 16 rangées de grains, produisant entre 300 et 1000 grains au total (Figure 2). Chaque grain de maïs est constitué d'un embryon, d'un tissu de réserve appelé albumen, et d'une fine enveloppe translucide appelée péricarpe. L'albumen est principalement composé de grains d'amidon, et c'est l'amidon corné qui donne aux grains la couleur caractéristique, qui peut être jaune, blanc, rouge ou noir.

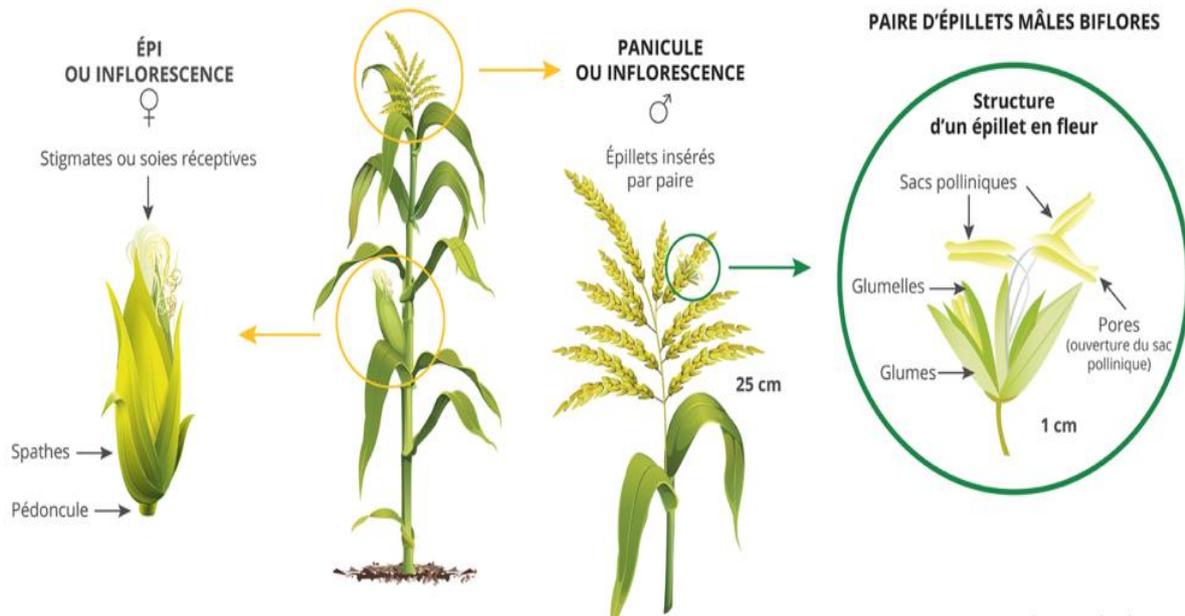


Figure 1: Morphologie d'un pied de maïs (semae-pedagogie, 2025)



Figure 2 : Diversité de couleur, de forme et de taille que peuvent avoir les épis de (Cecilio, 2021)
Maïs

Le maïs, tout comme d'autres graminées tropicales telles que la canne à sucre et le sorgho, est classé parmi les plantes en C4 (Barrière, 2020).

1.2.2.2- Feuille

Le maïs se distingue par ses grandes feuilles mesurant environ 10 cm de largeur et 1 m de longueur. Ces feuilles ont une forme lancéolée, avec des nervures linéaires et parallèles, ainsi qu'une nervure principale bien visible. Elles sont étroitement enroulées autour de la tige à leur base. De plus, on peut observer la présence de ligules, de petits poils fins. Les feuilles supérieures du maïs jouent un rôle important dans l'absorption de la lumière solaire (Hoopen & Maïga, 2012).

1.2.2.3- Etude physiologique

Le temps nécessaire, pour que le maïs atteigne sa maturité complète, c'est-à-dire que ses grains soient prêts à germer, dépend de l'information génétique spécifique à chaque variété et des conditions de température auxquelles la plante est exposée pendant sa croissance. Dans les régions tropicales, à des altitudes comprises entre 0 et 1 000 mètres, le maïs peut atteindre sa maturité physiologique (stade où les grains cessent d'accumuler de l'amidon et des protéines) entre 90 à 130 jours après l'émergence de la plante. Toutefois, à des altitudes plus élevées, ce processus peut prendre de 200 à 300 jours. Même à la même altitude et avec des températures similaires, certaines variétés sont considérées, comme, précoces, et atteignent leur maturité plus rapidement que d'autres (Riva-Roveda *et al.*, 2015).

1.2.2.4- Ecologie du maïs

Le maïs est une culture qui présente une demande élevée en eau, surtout, pendant la floraison. Idéalement, il préfère des températures régulières et plus élevées, avec une température optimale d'environ 25 °C. Pour favoriser sa croissance, il est préférable d'avoir des sols riches en matières organiques et dotés de bonnes propriétés physiques (Bazoumana *et al.*, 2009). Les sols propices, pour une croissance optimale du maïs sont riches en éléments fins, humifères, frais et dotés d'une capacité de rétention élevée (Michael & Davide, 2008). Ils sont profonds, bien structurés, de texture limoneuse ou sablonneuse, et régulièrement alimentés en eau, avec un pH compris entre 6 et 7,5. En outre, l'altitude recommandée ne doit pas dépasser 1800 mètres. La fertilité du sol doit être préservée en priorité, en ayant recours à des engrais appropriés, déterminés par une analyse pédologique, afin de répondre aux besoins spécifiques en éléments nutritifs et oligo-éléments de chaque culture (Hoopen & Maïga, 2012).

1.3- Technique de culture du maïs

1.3.1- Système de culture du maïs

Le maïs peut être cultivé seul ou en association avec d'autres cultures, telles que le manioc, le niébé, l'igname et l'arachide, que ce soit en amont, en parallèle ou en aval du cycle de croissance de la culture associée (Akanvou *et al.*, 2006).

1.3.2- Préparation du sol et semis

La culture du maïs peut être réalisée de manière manuelle, soit à plat (le plus courant), sur des billons ou sur des buttes, selon les régions (Akanvou *et al.*, 2006). Les semences sont semées au début de la saison des pluies, généralement, en poquets, contenant deux à trois graines. Pour la culture attelée ou mécanisée, il est préférable d'effectuer un labour d'environ 15 à 30 cm de profondeur après une bonne pluie. Un retard dans les semis peut entraîner une diminution des rendements. Dans les systèmes semi-intensifs et intensifs, des densités de semis élevées sont recommandées (Drouet & Moulia, 1997).

1.3.3- De la germination à la formation des plants feuillés

La germination du maïs commence par l'absorption d'eau par la graine, ce qui entraîne le développement de la radicule. Les racines séminales secondaires apparaissent au niveau du nœud scutellaire (Deffan *et al.*, 2015). Le cycle de développement du maïs comprend différentes phases, notamment, la germination, la croissance, la floraison et la fécondation, qui varient en durée de 90 à 180 jours, selon la variété et les conditions de culture. La phase de germination se divise en quatre stades distincts : l'imbibition de la graine, l'émergence de la radicule, le développement du coléoptile et la levée (Hoopen & Maïga, 2012). Pendant cette phase, la gemmule se développe en un coléoptile qui émerge du sol, donnant naissance aux premières feuilles. Les jeunes plants de maïs deviennent progressivement autotrophes, et accumulent une substance appelée acide hydroxamique, qui leur confère une résistance naturelle contre les insectes, les champignons et les bactéries pathogènes (Hoopen & Maïga, 2012). La germination du maïs est limitée aux températures du sol supérieures à 13 °C, car, en dessous de cette température, les graines peuvent être endommagées par les champignons et les insectes avant la croissance des plants (Boukar *et al.*, 2017). Quant à la phase de croissance, sa durée dépend des variétés, de la température ambiante et de l'humidité du sol (Hoopen & Maïga, 2012).

1.3.4- Entretien

Pendant la préparation du sol, il est recommandé d'ajouter de l'engrais, si les sols sont peu fertiles avant les semis. Une lutte efficace, contre les mauvaises herbes, est une condition essentielle, pour garantir un rendement optimal de la culture (Cinyabuguma *et al.*, 2018). Pour ce faire, il est conseillé d'effectuer deux ou trois sarclages tout au long du cycle. Le premier sarclage peut être réalisé avant ou pendant le démariage ; le deuxième, 30 jours après les semis, et le troisième avant la récolte lorsque la parcelle est fortement envahie par les mauvaises herbes (Akanvou *et al.*, 2006). Il est important que les sarclages soient superficiels, afin de ne pas perturber le système racinaire du maïs. En outre, il ne faut pas négliger d'autres méthodes de lutte contre les mauvaises herbes telles que le labour et les rotations de cultures (Bazoumana *et al.*, 2009).

1.3.5- Chronologie de la formation des fleurs, pollinisation et fécondation

Des processus biophysiques mènent à la fécondation chez les plants de maïs lorsqu'ils atteignent leur stade de floraison, marquant la formation et la visibilité de leurs organes reproducteurs. (Westgate *et al.*, 2007). Le stade de floraison intervient environ trois mois après le semis, ce qui confère au maïs une capacité d'acquisition de matière sèche très rapide. À la floraison, les plants de maïs ont atteint leur taille maximale, généralement, comprise entre 2 et 2,5 mètres, bien que certaines variétés puissent présenter des tailles extrêmes, allant de 0,5 mètre à 5 mètres de hauteur. Le maïs est une plante monoïque, avec les organes reproducteurs mâles (les panicules) et femelles (les épis), séparés verticalement sur le même pied. Son mode de reproduction est (Marceau, 2011). La production de grains dans un champ de maïs dépend du bon fonctionnement de son système reproducteur, composé d'un ensemble d'organes et de mécanismes interagissant entre eux, tels que la production des gamètes, la libération, le transport et la viabilité du grain de pollen, ainsi que l'élongation et la réceptivité des soies.

Dans les paragraphes suivants, seront détaillés chronologiquement les processus impliqués dans la reproduction sexuée du maïs, en commençant par la floraison mâle (l'émission du grain de pollen), puis la floraison femelle (l'émission des soies), en raison du phénomène de protandrie. Ensuite, seront pris en compte les mécanismes régissant le transport du grain de pollen dans l'atmosphère, ainsi que ceux conduisant à la fécondation proprement dite. Seront également abordées les données concernant la fécondation croisée entre différentes parcelles de maïs (Marceau, 2011).

1.3.6- Processus impliqués dans la reproduction sexuée du maïs

1.3.6.1- Floraison mâle

Le processus de développement de la panicule, qui porte les fleurs mâles, commence environ un mois et demi avant la floraison. Au sommet de l'axe principal, l'apex de la panicule commence à émerger, encore enveloppé par les 3 à 4 dernières feuilles, formant un cornet. Progressivement, le cornet se déroule et la panicule s'élève grâce à la croissance de son pédoncule. Les ramifications se déploient autour du rachis, ce qui confère à la panicule une position dominante sur la plante (Bechoux *et al.*, 2000). Cependant, il peut arriver que la panicule ne parvienne pas à se déployer entièrement, restant partiellement coincée dans le cornet au moment de l'émission de grain de pollen, ce qui limite leur dispersion dans l'atmosphère. Le nombre et la taille des ramifications, ainsi que du rachis, sont des caractéristiques spécifiques à chaque variété. Cependant, des conditions météorologiques défavorables pendant la transition florale, telles que le froid, peuvent réduire les dimensions potentielles (Bechoux *et al.*, 2000). Dans la famille des Poacées (Graminées), les épillets sont les éléments constitutifs de l'inflorescence. Ils sont insérés par paires le long du rachis. Chaque paire d'épillets se compose d'un épillet pédicellé et d'un épillet sessile (Figure 3). Les épillets sont disposés sur plusieurs rangs le long du rachis, mais, seulement, sur deux rangs le long des ramifications. Par conséquent, le rachis contient un grand nombre d'épillets par rapport aux ramifications. Chaque épillet est composé de deux glumes qui contiennent deux fleurs mâles, une supérieure et une inférieure (Marceau, 2011).

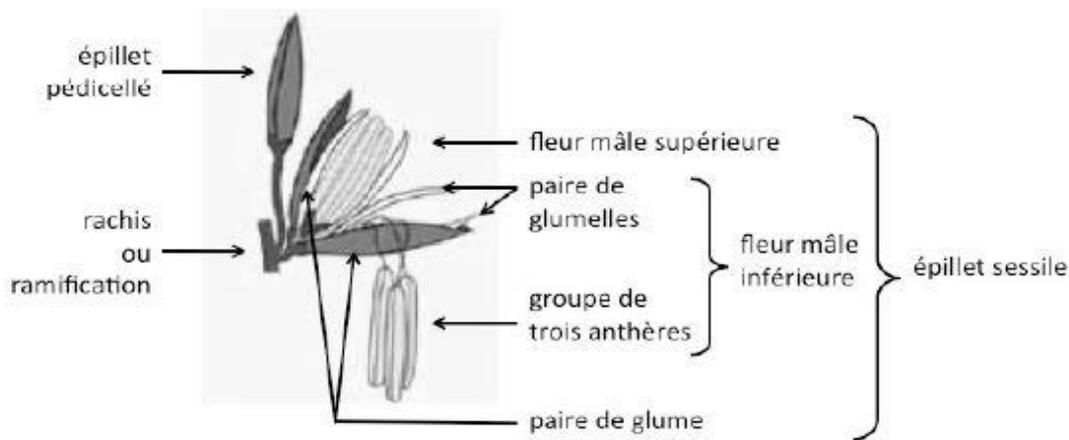


Figure 3 : Schéma d'un épillet mâle chez le maïs (Marceau, 2011)

Les quantités de grain de pollen varient considérablement d'une variété à l'autre, en fonction de la taille de la panicule et du nombre de ramifications. Selon Fonseca *et al.* (2003a), les variétés anciennes peuvent produire environ 20 à 40 millions de grains de pollen par

panicule, tandis que les hybrides modernes produisent entre 3 et 11 millions, et les lignées entre 0,2 et 3 millions (Fouellassar, 2005).

1.3.6.2- Description du grain de pollen

Le terme pollen trouve son origine dans le grec ancien, où, il signifiait à la fois « farine » et « poussière pollinique » (Donadieu, 1982). Le grain de pollen est l'élément reproducteur mâle des plantes à graines. Il se compose de nombreux corpuscules microscopiques, contenus dans les sacs polliniques de l'anthère des fleurs, formant les éléments fécondants mâles (Charpin, 2004). Une fois mature, l'anthère des étamines libère ces grains de pollen (Figure 4A). Chaque grain de pollen est de petite taille (entre 5 et plus de 300 μm), de forme sphérique ou en bâtonnet, et possède une durée de vie variable (de quelques minutes à quelques jours). Le grain de pollen produit les gamètes mâles, ce qui en fait le gamétophyte mâle des plantes à graines (Marouf, 2007). Lors de la pollinisation, le grain de pollen libéré est transféré vers la partie femelle de la fleur, où, se produit la fécondation (Charpin, 2004) (Figure 4B). Le gamétophyte mâle est responsable de la production et du transport des deux cellules spermatiques jusqu'au sac embryonnaire, où se produit la double fécondation. La qualité du grain de grain de pollen est définie, comme, sa capacité à féconder un pistil réceptif et compatible (Anonyme, 2018). La structure du grain de grain de pollen se caractérise par une paroi interne, appelée intine, qui forme la membrane squelettique du grain de pollen, ainsi qu'une paroi externe, l'exine, lisse et fine, typique des grains de pollens anémophiles (Yves *et al.*, 2006).

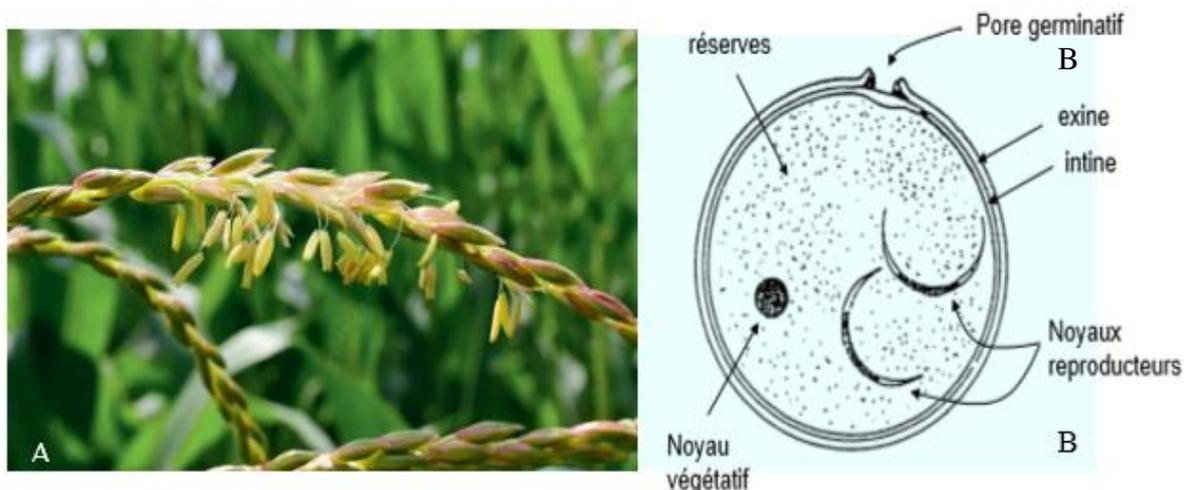


Figure 4 : Panicule de *Zea mays* et structure de grain de pollen

A : Libération du pollen ; B : Schéma d'un grain de pollen (Yves *et al.*, 2006)

1.3.6.3- Composition du grain de pollen

Le grain de pollen, produit par les fleurs des plantes à graines, est une source de nourriture coûteuse à synthétiser pour la plante, mais, sa composition est avantageuse, pour de nombreux animaux. En effet, il s'agit d'un aliment diététique complet et riche en éléments nutritifs précieux (Rabiet, 1984). La composition chimique du grain de pollen varie considérablement en fonction des espèces végétales et des conditions environnementales (Clément, 2002 ; Donadieu, 2004). Selon Campos *et al.* (2008), les pelotes de grain de pollen contiennent de nombreux éléments nutritifs.

- **Acides aminés**

Les acides aminés intéressent le plus vivement les chercheurs. Le regain d'intérêt provient vraisemblablement du fait qu'ils entrent dans la composition des allergènes, et sont importants, pour la nutrition au moment de la germination. Le pourcentage d'acides aminés ou des protéines est variable : 14 à 27 %. Les acides aminés isolés sont les acides aminés essentiels Till *et al.* (2006) se sont attachés à suivre les transformations de la proline au cours du temps. Elle s'accumule après la méiose, et est répartie uniformément sur les protoplastes.

- **Acides nucléiques**

La teneur en acides nucléiques dans le grain de pollen peut varier considérablement (0,6 à 12 %). Ces variations peuvent être influencées par divers facteurs, tels que l'espèce végétale, le stade de développement du grain de pollen, et les conditions environnementales. Les études sur l'incorporation de la thymidine marquée dans le noyau reproducteur permettent de suivre la réplication de l'ADN et de comprendre les mécanismes de contrôle de la division cellulaire pendant la germination du grain de pollen (Germana, 2012).

- **Eau**

Le grain de pollen est composé d'eau, à 10 % en moyenne sur la fleur, entre 10 à 40 % pour le grain de pollen des trappes et 4 %, pour le grain de pollen séché. Un taux de 5 % représente, en général, la limite supérieure à ne pas dépasser, pour assurer une bonne conservation à température ordinaire. La quantité d'eau varie, selon l'espèce botanique (Prost & Leconte, 2005).

- **Protéines**

Les protéines sont principalement présentes dans le cytoplasme du grain de pollen (Chausat, 2005). La teneur en protéines du grain de pollen varie entre 8 % et 40 %, selon l'origine florale, avec une moyenne d'environ 25 % (Phillipe, 1991). Parmi ces acides aminés, on retrouve les acides aminés essentiels, ainsi que ceux qui favorisent la croissance : l'arginine, la lysine, la leucine, la proline, l'acide aspartique et l'acide glutamique (Cherbulier, 2001). Ces acides aminés sont présents dans presque tous les types de grain de pollen (Roulston *et al.*, 2000).

- **Lipides**

La quantité de lipides dans le grain de pollen varie de 1 % à 20 % du poids sec (Prost & Le conte, 2005). Cette variation dépend de l'origine florale : le grain de pollen des plantes anémophiles, comme les pins, est pauvre en lipides (environ 2 %), tandis que celui des plantes entomophiles, comme le pissenlit, contient environ 14 % de lipides (Clément, 2002). La fraction lipidique du grain de pollen est, principalement, constituée d'acide palmitique, suivi d'acides linoléiques (représentant 19 % à 56 % de l'ensemble des acides gras insaturés), d'acides oléiques, linoléiques, stéariques, etc. (Krell, 1996).

- **Glucides**

Selon Schmidt & Buchman (1992), la quantité de sucres varie de 15 à 50 %, avec une valeur énergétique de 270 kilocalories pour 100 g de grain de pollen. La teneur en amidon est très élevée (jusqu'à 18 %) dans certaines herbes. Les sucres, les plus répandus, sont le fructose, le glucose et le saccharose, qui représentent environ 90 % de la totalité des sucres (Qiana *et al.*, 2008). Selon Silva *et al.* (2006), le grain de pollen renferme une grande quantité de sucres réducteurs, provenant du miel. Il est important de souligner que la part des divers sucres présents dans le grain de pollen varie d'une espèce à l'autre (Campos *et al.*, 2008). Selon Bell *et al.* (1983), la quantité de fibres, présentes dans le grain de pollen, varie de 7 à 16 g/100 g de grain de pollen, dont les fibres insolubles (cellulose et callose) constituent la proportion la plus importante (Stamler, 1994).

- **Vitamines**

Le grain de pollen est riche en vitamines hydrosolubles et pauvre en vitamines liposolubles (Roulston *et al.*, 2000). Selon Campos *et al.* (2008), il contient différentes vitamines, telles que : les vitamines B1, B2, B3, C – acide folique et tocophérol (Tableau I).

Tableau I : Composition en vitamines de grain de pollen (Campos *et al.*, 2008),

Vitamines	Teneur (mg /kg)
B-carotène	10-200
Thiamine (B1)	6-13
Riboflavine (B2)	6-20
Niacine (B3)	40-110
Acide pantothénique (B5)	5-20
Pyridoxine (B6)	2-7
Acide ascorbique	70-560
Biotine (B7)	0,5-0,7
Acide folique	3-10
Tocophérol (E)	40-320

- **Minéraux**

Le contenu total des minéraux du grain de pollen est, généralement, compris entre 2 et 4 % du poids sec du grain de pollen (Simal & Muniateguis, 1988). Ils sont représentés par le calcium, le chlore, le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphate, le potassium (Bell *et al.*, 1983). L'élément minéral principal, dans le grain de pollen, est le potassium (environ 60 % de la totalité des minéraux), suivi par le magnésium (environ 20 %) et le sodium et le calcium (environ 10 %) (Campos *et al.*, 2008).

- **Enzymes et Coenzymes**

Le grain de pollen contient une grande quantité d'enzymes (toutes les classes d'enzymes sont présentes) telles que : l'amylase, l'invertase, les phosphatases et transférases, la catalase, la pectase (Fuentes & Danya, 2016). Il renferme aussi de nombreux cofacteurs enzymatiques, tels que les biotines, le glutathion et certains nucléosides (Cherbulier, 2001).

1.3.6.4- Libération du grain de pollen : l'anthèse et la déhiscence

Le stade de floraison mâle est atteint lorsque la panicule commence à libérer du grain de pollen. À l'échelle d'un champ, de nombreux auteurs définissent ce stade, comme, le moment où plus de 50 % des plantes émettent du grain de pollen. L'émission de grain de pollen se produit, essentiellement, pendant la phase diurne. Les étapes qui y conduisent sont les suivantes : l'ouverture des épillets et des fleurs, puis l'extraction et la déhiscence des anthères (Marceau, 2011). L'anthèse, qui correspond à l'ouverture de l'épillet et de la fleur, entraîne l'apparition des anthères. Cela se produit après l'imbibition d'eau de l'épillet, ce qui augmente son volume et écarte mécaniquement les deux glumes et les deux glumelles. Simultanément, le filet s'allonge et pousse l'anthère hors de l'épillet jusqu'à ce qu'elle soit totalement suspendue au-dessus du vide. À ce stade, les anthères ressemblent à un double canon de fusil, chaque canon constituant un sac pollinique. Selon Marceau (2011), après l'extraction, un pore s'ouvre à l'apex des deux sacs polliniques, marquant le début de la déhiscence des anthères (Figure 5).

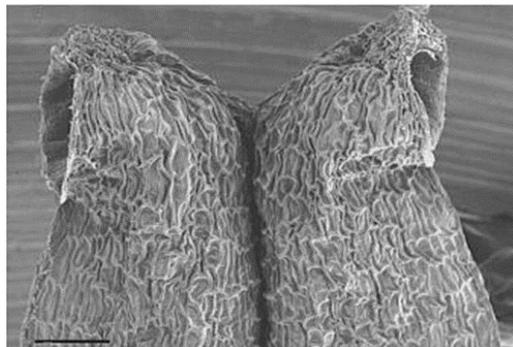


Figure 5 : Apex d'une anthère au début de la déhiscence (Marceau, 2011)

L'anthère a une forme de double canon de fusil à l'extrémité desquels se forme un pore par lequel s'échappe le grain de pollen (Keijzer *et al.*, 1996). Pendant la déhiscence, le pore s'élargit et ses bords se recourbent légèrement jusqu'à ce que l'orifice prenne une forme évasée. C'est par ce pore que les grains de grain de pollen stockés dans l'anthère s'échappent. Initialement, on supposait que l'initiation du pore, qui se produit environ une heure avant l'anthèse, résultait d'une lyse cellulaire, et que les cellules bordant le pore étaient prédestinées à ce rôle. Cependant, on sait maintenant que l'élargissement du pore est principalement dû à la dessiccation de la région apicale, provoquée par la déshydratation au contact de l'air. Ce processus est réversible par humidification (Keijzer *et al.*, 1996).

L'ordre d'ouverture des fleurs est en partie déterminé par leur âge depuis le début de leur développement (Freeling & Walbot, 1996). Les premières fleurs à s'ouvrir, les plus âgées, se trouvent au tiers supérieur du rachis, puis les fleurs plus jeunes s'ouvrent de part et d'autre.

L'anthèse se poursuit sur les ramifications 1 à 2 jours après avoir commencé sur le rachis, toujours selon la même séquence, en commençant par le tiers supérieur (Fonseca *et al.*, 2003b). Cependant, l'âge n'est pas le seul facteur déterminant la séquence d'ouverture des fleurs. Un délai de 2 à 3 jours est observé entre l'ouverture de la fleur supérieure et celle de la fleur inférieure d'un même épillet, malgré un développement morphologique synchrone. Pour expliquer ce délai, Skibbe *et al.* (2008) ont mis en évidence des différences dans l'expression de certains gènes.

1.4- Dynamique d'émission du grain de pollen à l'échelle d'une plante et d'une parcelle de maïs

À l'échelle d'une plante, la saison d'émission du grain de pollen s'étend sur plusieurs jours en raison de la différence de maturité entre les épillets et les fleurs. Des durées d'émission de 4 à 7 jours ont été mesurées pour les panicules de plantes hybrides (Westgate *et al.*, 2003a). Foueillassar *et al.* (2005) ont montré que la durée de floraison des lignées était légèrement inférieure à celle des hybrides, probablement en raison des plus petites dimensions des panicules. La durée de la saison d'émission varie, également, en fonction des conditions météorologiques : lorsque les températures diminuent ou, en cas de stress hydrique, la saison d'émission est plus longue (Struik *et al.*, 1986). Au cours de la floraison d'une panicule, les quantités journalières émises varient, selon une dynamique temporelle qui reste, connaissance, à mieux caractériser. Uribe Larrea *et al.* (2002) ont évalué indirectement une dynamique proche d'une courbe gaussienne, tandis qu'Angevin *et al.* (2008) rapportent que la majorité du grain de pollen est libérée pendant les deux premiers jours.

À l'échelle d'un champ, en raison de l'hétérogénéité de la floraison au sein du peuplement, la saison d'émission du grain de pollen est plus longue.

L'hétérogénéité de la floraison peut être évaluée en examinant la distribution des dates de début de floraison. Plusieurs auteurs ont observé qu'une période de 8 à 14 jours est nécessaire pour que toutes les plantes atteignent la floraison (Fonseca *et al.*, 2004). En conséquence, les durées d'émission de grain de pollen se situent entre 10 et 14 jours (Jarosz *et al.*, 2003 ; Vogler *et al.*, 2009). Cependant, Ogden *et al.* (1969) ont constaté que la majorité du grain de pollen est libérée en seulement, 5 à 8 jours. À l'échelle d'un champ, la dynamique saisonnière d'émission de grain de pollen présente une forme caractéristique qui peut être représentée par une courbe gaussienne : les quantités journalières émises augmentent jusqu'à atteindre un maximum, puis diminuent (Westgate *et al.*, 2003b). Fonseca *et al.* (2004) ont rapporté que le pic d'émission est atteint 2 à 3 jours après que 50 % des plantes ont commencé à émettre du grain de pollen. Au

cours d'une journée, l'émission de grain de pollen suit également une dynamique caractéristique. Elle commence quelques heures après le lever du soleil, en fonction des conditions d'humidité, et atteint son maximum entre 08 :00 et 10 :00 TU. Parfois, la présence d'un deuxième pic d'émission est observée l'après-midi (Van Hout *et al.*, 2008 ; Viner *et al.*, 2010).

1.5- Inflorescence femelle : l'épi

1.5.1- Caractéristiques de l'épi

L'Épi est l'inflorescence femelle du maïs. On en trouve entre 3 et 4, mais, en général, un seul atteint un développement complet. Chaque épi se situe à l'extrémité d'une ramification de l'axe principal, prenant naissance à l'aisselle d'une feuille, généralement, située à mi-hauteur de la plante, entre 0,7 et 1,3 m (Angevin *et al.*, 2008). L'épi se développe au sein de la gaine foliaire de la feuille, à l'aisselle de laquelle il émerge progressivement. La ramification est constituée d'une série de nœuds très courts, portant chacun un organe foliaire, appelé spathe (Figure 6). L'ensemble des spathes forme un cornet qui protège l'épi. Ce dernier est constitué d'une rafle le long de laquelle se trouvent les épillets femelles, disposés en double rangée. En général, chaque plante de maïs est composée de deux fleurs : l'une stérile et l'autre fertile. La fleur fertile contient plusieurs ovules, et le nombre total d'ovules dans l'épi varie de 300 à 600, pour les lignées et de 500 à 1000, pour les hybrides. Au cours de leur développement, chaque ovule développe un style (ou soie) qui s'allonge progressivement jusqu'à sortir du cornet. Ces soies, parsemées de poils collants, servent de récepteurs pour le grain de pollen (Viner *et al.*, 2010).

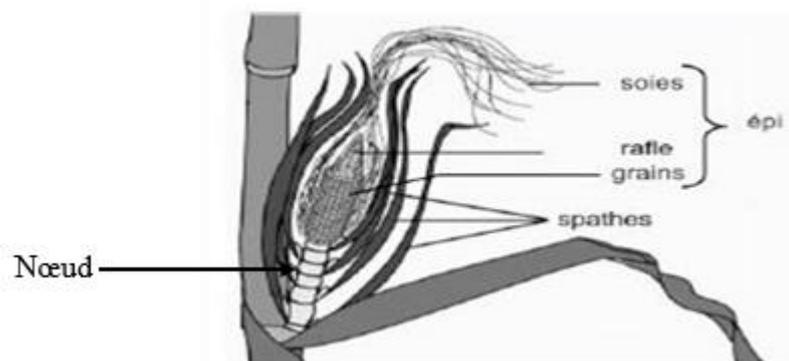


Figure 6 : Schéma d'un épi de maïs au stade de la floraison (Marceau, 2011)

1.5.2- Stade de floraison femelle et l'émergence des soies

À l'étape de la floraison femelle, les soies émergent du cornet et deviennent visibles. Ce stade est généralement, atteint quelques jours après la floraison mâle, en raison de l'initiation

plus tardive du développement de l'épi par rapport à celui de la panicule. L'intervalle de temps entre ces deux événements est appelé ASI (Anthesis-to-Silking Interval). À l'échelle du champ, cet intervalle est souvent calculé comme le laps de temps entre le jour où 50 % des plantes ont commencé à émettre du grain de pollen et le jour où 50 % des plantes ont commencé à émettre des soies. En moyenne, cela représente de 1 à 2 jours, mais, cela peut varier considérablement entre 2 et 10 jours, en fonction des conditions météorologiques et de la densité des plantes (Bassetti & Westgate, 1994 ; Uribeharrea *et al.*, 2002).

1.5.3- Dynamique d'émission des soies

Comme pour la floraison mâle, les ovules les plus âgés, situés à la base de l'épi, atteignent la floraison en premier, suivis par les ovules plus jeunes. Pour un épi, la différence de maturité des ovules entraîne une émergence des soies étalée sur 3 à 5 jours (Bassetti & Westgate, 1994). Cependant, la majorité des soies est émise durant les deux premiers jours. Les soies s'allongent jusqu'à atteindre une longueur de 20 à 30 cm. Chaque soie est réceptive pendant environ 5 jours, puis elle devient sénescence, et s'assèche. On peut identifier visuellement les soies sénescences par leur couleur, qui vire du jaune au marron. La durée de réceptivité est une caractéristique génétique dont l'expression dépend des conditions météorologiques. Par exemple, un stress hydrique, après la sortie des soies, entraîne une sénescence prématurée (Bassetti & Westgate, 1993). À l'échelle de la parcelle, la durée de la floraison femelle dépend de l'hétérogénéité de la floraison dans le peuplement. La majorité des plantes atteint le stade de la floraison femelle entre 5 et 7 jours, ce qui se traduit par des durées de floraison femelle comprises entre 8 et 12 jours. Lizaso *et al.* (2003) estiment une dynamique saisonnière en forme de cloche, bien qu'aucune étude expérimentale n'ait été menée pour examiner la dynamique quotidienne.

1.5.4- Développement de l'épi à la maturité

Une fois le grain de pollen déposé sur une soie, qui est un style allongé et soyeux émergeant de l'épi, il commence à germer. Ce processus implique la formation d'un tube pollinique qui croît à travers la soie jusqu'à l'ovule. À l'intérieur de l'ovule, le tube libère deux gamètes mâles : l'un féconde l'oosphère pour créer un zygote, tandis que l'autre fusionne avec les noyaux polaires pour former l'albumen, un tissu nutritif essentiel pour le développement de l'embryon (Shi *et al.*, 2009).

La plupart des épis de maïs ont entre 14 et 20 rangées, avec 40 ovules ou plus par rangée, produisant environ 500 à 600 grains. Le manque d'eau affecte, généralement, en premier les grains situés à l'extrémité de l'épi, les faisant se recroqueviller ou avorter. Le maïs est

particulièrement vulnérable au manque d'eau à ce stade, en raison de ses besoins hydriques élevés (jusqu'à 10 mm par jour en conditions chaudes et sèches). Les grains passent ensuite par trois stades successifs : le stade laiteux, le stade pâteux et le stade sec (Lizaso *et al.*, 2003). Au stade laiteux, la graine a atteint sa forme et ses dimensions définitives, de couleur jaune pâle et avec un contenu laiteux. Au stade pâteux, la graine est jaune pâle, s'écrase facilement, avec une humidité entre 50 % et 60 %. La teneur en matière sèche de la plante est alors d'environ 25 %, et les feuilles ainsi que les spathes restent vertes. Il est important de noter que ces différentes phases dépendent, des variétés (Hoopen & Maïga, 2012). Au stade sec, la maturation est complète. La graine a une humidité inférieure à 35 % et la teneur en matière sèche de la plante dépasse 45 %. La plante est entièrement sèche.

1.6- Récolte et activités post-récoltes

Les épis de maïs sont récoltés frais ou secs en fonction de leur utilisation. Pour les variétés à cycle court, la récolte des épis frais a lieu 60 à 75 jours, après le semis, tandis que pour les variétés à cycle long, elle intervient 75 à 85 jours, après le semis (Akanvou *et al.*, 2006). Les épis secs quant à eux, sont récoltés entre 85 et 100 jours après semis. Généralement, les épis sont récoltés lorsque les spathes sont sèches et que les grains résistent aux rayures de l'ongle (Akanvou *et al.*, 2006).

Pour permettre un meilleur séchage, il est nécessaire de retirer les spathes des épis de maïs. Le séchage peut être réalisé dans des espaces ouverts, sur des surfaces cimentées, des claies, des bâches en plastique, des séchoirs ou dans des cribs. Les cribs doivent être orientés perpendiculairement à la direction du vent, pour assurer une dessiccation maximale (CNRA, 2006). Les grains sont séchés jusqu'à atteindre un taux d'humidité de 12 %. Après séchage, les récoltes sont protégées contre les charançons grâce au traitement à l'Actellic à 2 % DP (pyrimiphos-méthyl), à raison de 300 à 500 g pour 100 kg de grains, afin d'éviter les infestations. Le stockage doit se faire dans un lieu aéré. Les résidus de récolte peuvent être enfouis dans le sol, utilisés, comme, paillis ou transformés en fumier ou compost (Hoopen & Maïga, 2012).

1.7- Culture du maïs en Côte d'Ivoire

1.7.1- Variétés de maïs cultivé en Côte d'Ivoire

Une grande variabilité existe chez le maïs. En Côte d'Ivoire, la production est assurée par diverses variétés traditionnelles et améliorées (Tableau II). La plupart du matériel amélioré est issu du CNRA (CNRA, 2006).

Tableau II : Caractéristiques des semences de maïs en Côte d'Ivoire (CNRA, 2006).

N°	Noms/ Variétés du CNRA	Caractéristiques			
		Cycle de maturité (Jours)	Couleur et texture des grains	Principales caractéristiques	Rendement moyen (t/ha)
01	EV99-MRP	Précoce (90-95)	Blanc Semi-denté	Tolérante à la Sécheresse et à la Striure Riche en protéines	3-4
02	DMRESR-Y	Précoce (90-95)	Jaune, corné/denté	Tolérante à la Striure Tolérant au mildew Riche en protéines	3-4
03	DMRESR-W	Précoce (90-95)	Blanc corné	Tolérante à la Striure Tolérant au mildew Riche en protéines	3-4
04	MDJ	Intermédiaire (100-105)	Jaune, corné	Tolérante à la Striure et à la verse racinaire	3-4
05	Violet de Katiola	Intermédiaire (100-105)	Violet, corné	Tolérante à la Striure et à la verse racinaire	2-3
06	GMRP-18	Intermédiaire (100-105)	Jaune, denté	Tolérante à la Striure, Riche en protéine	3-4
07	EV8728	Tardif (105-110)	Jaune, denté	Tolérante à la Striure et à la verse racinaire	3-5
08	Obatanna	Tardif (105-110)	Blanc, denté	Tolérante à la Striure, Riche en protéine	3-5
09	ACR97 TZL Complsyn	Tardif (105-110)	Blanc, corné/denté	Tolérante à la Striure et à la verse racinaire Tolérant à <i>S. harmonica</i>	3-4

1.7.2- Problèmes lié à la culture du maïs

Le groupe intergouvernemental, affirme que la baisse serait liée à des contre-performances attendues en Ukraine et aux États-Unis, respectivement sixième et premier producteurs mondiaux. En effet, la guerre en cours dans l'Est depuis quelques mois et les mauvaises conditions climatiques en Amérique devraient entraîner une baisse significative des surfaces cultivées et des rendements (Duquef *et al.*, 2023). La production de semences a, également, souffert de la sécheresse, et ceci quel que soit le bassin de production.

En Afrique, le maïs est un aliment de base majeur. Il peut être utilisé, comme nourriture, comme, aliment, pour les animaux et, comme, source de matières premières industrielles. En Afrique subsaharienne, le maïs est cultivé, principalement, par de petits agriculteurs dans des

conditions pluviales, essentiellement, pour la consommation humaine. Selon les estimations de la FAO, pour 2008, les rendements nationaux moyens en Afrique subsaharienne n'ont été que d'environ 1,4 tonne par hectare, alors que la moyenne mondiale était de 5,1 tonnes/ha. Les faibles rendements, en Afrique sub-saharienne, peuvent être attribués à de multiples facteurs qui sont, entre autres, la faible fertilité des sols, qui est l'un des principaux défis auxquels sont confrontés les petits exploitants agricoles en Afrique subsaharienne (Bouagnimbeck & Ssebunya, 2021).

En Côte d'Ivoire, la filière maïs nécessite encore des améliorations pour sa modernisation, notamment en ce qui concerne l'amélioration des variétés pour la résistance aux maladies et ravageurs, et l'accès à des intrants de qualité à des coûts abordables. De plus, le développement d'infrastructures adéquates, telles que les routes, les silos de stockage et les marchés, est essentiel pour faciliter la commercialisation. Elles sont nécessaires pour augmenter les revenus des agriculteurs grâce au maïs (Kouamé *et al.*, 2015).

1.7.3- Maladies et ravageurs du maïs

1.7.3.1- Maladies physiologiques et abiotiques

Les carences nutritionnelles chez les plantes se manifestent par divers symptômes spécifiques. Une carence en azote (N) entraîne le jaunissement et la mort prématurée des feuilles inférieures, ainsi qu'un ralentissement du développement. En cas de carence en phosphore (P), les plantes apparaissent rabougries, avec des feuilles pouvant prendre une teinte pourpre ou rougeâtre et un développement racinaire limité. La carence en potassium (K) se traduit par le jaunissement et la nécrose des bords des feuilles inférieures, et des tiges fragiles sujettes à la verse. Quant à la carence en magnésium (Mg), elle se caractérise par l'apparition de bandes jaunes entre les nervures des feuilles inférieures. Les carences en zinc (Zn) se manifestent par des bandes blanches ou jaunes sur les feuilles, souvent près de la base, avec des entre-nœuds raccourcis. Enfin, une carence en fer (Fe) provoque le jaunissement des jeunes feuilles entre les nervures, laissant celles-ci vertes, un phénomène connu sous le nom de chlorose. Les perturbations du métabolisme, les retards de croissance ou les anomalies du développement chez les plantes résultent de causes abiotiques non transmissibles d'une plante à l'autre. En Côte d'Ivoire, ces causes abiotiques sont principalement liées à la sécheresse dans la région du Nord savanicole. Cette partie du pays se trouve dans le climat soudanais, où la pluviométrie annuelle varie de 1000 à 1700 mm. Le climat est caractérisé par une saison des pluies et une saison sèche. Les variations de température y sont plus marquées, et l'humidité

relative reste plus basse. L'harmattan, un vent chaud et sec d'origine saharienne, souffle au maximum en janvier (Soro *et al.*, 2015).

1.7.3.2- Maladies biotiques

En se fondant sur la nature de l'agent pathogène, on note les maladies fongiques ou cryptogamiques, les maladies bactériennes et les maladies virales. Ces maladies s'attaquent aux épis, aux feuilles, aux tiges ou aux racines. Selon Ristanivic (2001), en Afrique, on observe une présence généralisée de pourritures de l'épi, de brûlures des feuilles, de pourritures des tiges et des bandes sur les feuilles. En Afrique tropicale francophone, précisément en Côte d'Ivoire, le maïs cultivé est, en général, bien adapté à son milieu, malgré des pertes dues à la persistance de certaines maladies foliaires et des conditions de stockage, encore, précaires (Sen, 2020). Les maladies, les plus dominantes dans les cultures du maïs, sont les maladies causées par les champignons. La fusariose (*Fusarium sp*) de la tige du maïs, causée par des champignons (*Fusarium graminearum*, *Gibberella zeae*), provoque des lésions ou tâches externes sombres aux nœuds inférieurs. À l'intérieur de la tige, le tissu pourri et la moelle prend une couleur rose saumon (Hoopen & Maïga, 2012). La Physodermose (*Physoderma maydis*) est une maladie qui se rencontre normalement dans les régions où les pluies sont abondantes et la température moyenne est élevée. Ses symptômes se manifestent sur les feuilles, les gaines, les tiges, et parfois, sur les spathes. Les premiers symptômes perceptibles apparaissent sur le limbe des feuilles, sous forme de petites taches jaunâtres (chlorotiques) disposées en bandes intercalées dans le tissu apparemment sain. Les lésions sur la nervure médiane sont circulaires et brun foncé, tandis que celles sur les autres tissus de la feuille demeurent jaunâtres. Les nœuds et les entrenœuds présentent aussi des lésions brunes. Lorsque l'attaque est grave, ces lésions finissent par se confondre les unes avec les autres, provoquant, ainsi, la pourriture de la tige causée par des champignons. Il existe, aussi, la fusariose de l'épi, le charbon et la mosaïque nanifiante du maïs (Dossa *et al.*, 2019).

1.7.3.3- Ravageurs du maïs

Les rendements du maïs peuvent être affectés par plusieurs insectes, mais, le ravageur principal est la larve de la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*). Cette larve est responsable de diverses pourritures de la tige (Jean & Boisclair, 2001). D'autres insectes nuisibles comprennent la chrysomèle des racines (*Diabrotica virgifera*), dont la larve sectionne les racines, provoquant des déformations des tiges et des renversements de plants. Les larves et les adultes de la cicadelle du maïs (*Zyginidia scutellaris*) se nourrissent des cellules des feuilles, entraînant l'apparition de nombreuses ponctuations blanches sur les feuilles, pouvant aller jusqu'au

dessèchement. Pour protéger le maïs, il est recommandé d'utiliser des pratiques culturales appropriées et d'envisager l'utilisation de fongicides et d'insecticides biologiques ou chimiques. Cependant, il est essentiel de vérifier au préalable la rentabilité économique de ces traitements (Jean & Boisclair, 2001). De plus, selon Fusillier & Jean (1994), les pertes de poids causées par les charançons et les insectes de farine peuvent atteindre 15 à 20 % pour le maïs à partir du cinquième mois de stockage. Au-delà du sixième mois, des insectes nécrophages et des moisissures peuvent se développer, produisant de l'aflatoxine, une substance nocive même pour l'alimentation animale (Yeo, 2011).

1.7.3.4- Méthodes de lutte contre les ravageurs

La lutte contre les parasites du maïs peut être réalisée de différentes façons. Par conséquent, afin de combattre le charançon du maïs (*Sitophilus zeae*), il est recommandé d'exposer le maïs en couches minces au soleil, d'utiliser des plantes répulsives ou de mélanger des plantes insectifuges, comme, le neem, avec les grains. Pour éliminer une partie des insectes, il est possible d'utiliser des méthodes mécaniques, telles que le transilage, le secouage et le passage au tarare. Il est nécessaire de recouvrir le maïs d'une pellicule d'insecticide et de fumer les vapeurs insecticides exposées au maïs, afin de détruire rapidement toutes les formes (Hoopen & Maïga, 2012). Lorsqu'on lutte contre la teigne des grains (*Nemapogon granella*), il est important de maintenir les greniers propres et de boucher les fissures des parois. On peut également utiliser du sulfure de carbone (phostoxin) et des tarares spéciaux, appelés tue-teignes, qui détruisent les grains attaqués. Enfin, il faut battre et faire moudre le plus tôt possible après la moisson et désinfecter le grenier contre les alucites des céréales (*Sitotroga cerealella*) (Hoopen & Maïga, 2012).

1.8- Importances du maïs

1.8.1- Importance socio-économique du maïs

Le maïs constitue une source d'alimentation essentielle dans différentes régions agroécologiques et systèmes agricoles à travers le monde. Il est la céréale la plus importante en quantité et en surface, représentant 41 % de la production mondiale de maïs. Le marché mondial du maïs est presque monopolisé par les États-Unis, qui représentent 40 % de la production et les trois quarts du commerce (Adjiba *et al.*, 2021).

En Afrique, la production de maïs est estimée à plus de 70 millions de tonnes, couvrant une superficie de 34 millions d'hectares (Harold & Tabo, 2015). En Côte d'Ivoire, la production de maïs est estimée à 1,9 millions de tonnes. Ainsi, le maïs occupe une place de choix aussi bien dans l'alimentation des populations ivoiriennes que dans la nutrition animale (volailles,

porcs, bovins) (Fao-stat, 2022). Dans l'alimentation humaine, le maïs est consommé sous forme de graines entières, d'épis bouillis ou braisés. Certains grains sont éclatés et consommés, comme, le bon-maïs. La farine de maïs est utilisée, pour préparer des bouillies, des galettes cuites ou encore le *kabato* en langue malinké. Le maïs est, également, consommé sous forme de couscous. Les flocons de maïs sont obtenus à partir de grains déshydratés et réduits en lamelles fines. Certaines entreprises fabriquent des aliments, pour nourrissons, à base de maïs et de blé. De plus, la fermentation des grains de maïs permet de produire de l'alcool, utilisé, notamment, en complément d'autres sources pour la préparation de boissons (Yeo, 2011).

1.8.2- Importance nutritionnelle du maïs

Le maïs est considéré, comme, un aliment idéal, pour le renforcement en provitamine A et riche en composants chimiques (Gnagne *et al.*, 2021). Les principaux composants chimiques sont présentés dans le tableau III.

1.8.2.1- Principaux composés chimiques

Les principaux constituants chimiques de quelques parties du grain de maïs sont consignés dans le tableau III. A l'analyse, les grains entiers sont riches en amidon (64-78 %). Ils renferment des protéines (7-12 %), des matières grasses (4-6 %) et des cendres (1-1,5 %). En outre, le germe est particulièrement riche en matières grasses (33,2 %), protéines (18,4 %) et en cendres (10,5 %). Par ailleurs, l'albumen est riche en amidon pendant que le péricarpe renferme plus de fibres (Gnagne *et al.*, 2021).

Tableau III : Composition chimique des principales parties des grains de maïs (Gnagne *et al.*, 2021).

Composants	Péricarpe	Albumen	Germe	Grains entiers de maïs
Chimiques (%) BS				
Protéines	3,7	8,0	18,4	7-12
Fibres brutes	86,7	2,7	8,8	2-2,5
Cendres	0,8	0,3	10,5	1-1,5
Amidon	7,3	87,6	8,3	64-78
Sucres	0,34	0,62	10,8	1-3
Matières grasses	1,0	0,8	33,2	4-6

BS : Base Sèche

1.8.2.2- Différents types de sels minéraux du maïs

Le maïs renferme plusieurs sels minéraux participant à de nombreuses fonctions vitales telles que la régulation de l'équilibre hydrique, la transmission des influx nerveux, la contraction musculaire, la coagulation sanguine et la formation des os (Luven, 1999). Les principaux éléments minéraux sont présentés dans le tableau IV.

Tableau IV : Teneurs en matières minérales du grain de maïs (Luven, 1999)

Sels minéraux	Concentration (mg/100 g)
P	299,6 ± 57,8
K	324,8 ± 33,9
Ca	48,3 ± 12,3
Mg	107,9 ± 9,4
Na	59,2 ± 4,1
Fe	4,8 ± 1,9
Cu	1,3 ± 0,2
Mn	1,0 ± 0,2
Zn	4,6 ± 1,2

1.8.2.3- Vitamines

Le maïs renferme plus de vitamines liposolubles (vitamines A et E) que de vitamines hydrosolubles, telles que la niacine, la thiamine, la pyridoxine, la riboflavine et l'acide pantothénique (N'Goran *et al.*, 2008).

- **Vitamines liposolubles**

Le grain de maïs renferme deux vitamines liposolubles : la provitamine A, également, appelée caroténoïdes, et la vitamine E. Les caroténoïdes sont, principalement, présents dans le maïs jaune (à des teneurs allant de 6,4 à 11,3 µg/g), et peuvent être génétiquement contrôlés. En revanche, le maïs blanc contient peu voire pas du tout de caroténoïdes (Semassa *et al.*, 2016). Le bêta-carotène, présent dans le maïs jaune, est une source importante de vitamine A. Malheureusement, le maïs jaune est moins couramment utilisé dans l'alimentation humaine que le maïs blanc. De plus, la teneur en caroténoïdes du maïs jaune peut diminuer au fil du stockage.

- **Vitamines hydrosolubles**

Les vitamines hydrosolubles se trouvent principalement dans la couche à aleurone de la graine de maïs, suivie du germe et de l'albumen. Cette distribution a son importance pour la transformation qui entraîne des pertes non négligeables de vitamines (FAO, 1993). La teneur en vitamines hydrosolubles (thiamine, riboflavine) est davantage sensible à l'environnement et aux pratiques culturelles qu'à la structure génétique. Le maïs ne contient pas de vitamine B12, et le grain mûr ne contient au mieux que de faibles quantités d'acide ascorbique. Les autres vitamines, qu'il s'agisse de la choline, de l'acide folique ou de l'acide pantothénique, ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations (Semassa *et al.*, 2016).

1.8.2.4- Composition en acides aminés du maïs

La qualité nutritionnelle du maïs est déterminée par la constitution de ses protéines en acides aminés. Les protéines du maïs ne sont pas de très bonne qualité, car, elles sont déficientes en acides aminés essentiels, la lysine et le tryptophane, notamment (Nuss & Tanumihardjo, 2011). Le germe contient, principalement, les acides aminés essentiels des protéines du maïs, avec une teneur en lysine de 791 mg/100 g et une teneur en tryptophane de 144 mg/100 g. Cependant, l'albumen contient une faible quantité de lysine (228 mg/100 g) et de tryptophane (48 mg/100 g) (Semassa *et al.*, 2016). Une autre caractéristique importante est la plus forte teneur en leucine du maïs commun par rapport aux variétés à protéines de qualité.

1.8.2.5- Valeur nutritionnelle du maïs

La qualité protéique du maïs est similaire à celle des autres céréales, à l'exception du riz. Des études ont examiné les raisons de la faible qualité des protéines du maïs. Par exemple, des régimes alimentaires, contenant 8 % de protéines de maïs, ont montré une amélioration significative de la croissance humaine lorsqu'ils étaient complétés par 0,25 % de lysine (Semassa, 2016). Selon la FAO (1993), le tryptophane, plutôt que la lysine, est l'acide aminé limitant du maïs. Cela peut être vrai pour certaines variétés riches en lysine ou pour les produits dérivés du maïs, obtenus par différents modes de transformation. Après la lysine et le tryptophane, l'isoleucine est, également, un acide aminé limitant, comme, le montrent des études sur l'alimentation animale. L'ajout d'isoleucine peut compenser cet effet, car, un excès de leucine interfère avec l'absorption et l'assimilation de l'isoleucine (FAO, 1993). En fin de compte, les niveaux de protéines alimentaires influencent la réponse observée après la supplémentation en acides aminés, principalement la lysine et le tryptophane, ainsi que d'autres acides aminés tels que l'isoleucine et la thréonine (Semassa, 2016).

1.8.3- Importance médicale

Le maïs est une céréale qui contient une grande quantité d'antioxydants, tels que l'acide férulique, qui préserve les cellules des dégâts, causés par les radicaux libres. Son potassium lui confère des propriétés diurétiques et il renferme des vitamines, du bêta-carotène et du sélénium dont les effets sont bénéfiques pour la santé. Le maïs est utilisé depuis l'Antiquité pour ses nombreuses vertus thérapeutiques (Schieber & Carle, 2005). C'est un puissant antioxydant qui protège contre les dommages des radicaux libres. Selon Ashok & Upadhyaya, (2015), il a des effets analgésiques, améliore la santé sexuelle, les rhumatismes et la mobilité des articulations. La soie de maïs possède des propriétés diurétiques, antiseptiques pour les urines et le foie. On utilise les différentes parties de la plante pour soigner divers problèmes de santé, allant des ulcères aux nausées en passant par les calculs rénaux. Selon Manchali *et al.* (2012), le maïs est une céréale qui présente de nombreux avantages dans la médecine traditionnelle.

1.9- Strategies d'amélioration du maïs

1.9.1- Description de l'amélioration

On peut décrire l'amélioration des plantes, comme, l'art et la science de concevoir des variétés qui répondent de plus en plus aux besoins de l'humanité. L'objectif de cette approche est de regrouper dans un même génotype, ou groupe de génotypes, le plus grand nombre de gènes bénéfiques. Cette méthode consiste à générer de nouvelles variétés à partir des variétés déjà existantes en utilisant des lignées pures (Gallais, 2011).

Quand ils se rencontrent, ces individus donnent naissance à une descendance ayant les mêmes caractères. Les individus, appartenant à une lignée pure, ont une similitude, non seulement, entre eux, mais, aussi, avec leurs ancêtres sur plusieurs générations d'autofécondation. Une lignée pure produit, toujours des gamètes d'un seul type, et découle de la reproduction sexuée successive d'un même individu (Bouchoukh, 2019). Lorsqu'une lignée atteint un état de pureté, elle devient génétiquement stable. Elle englobe, aussi, tous les descendants homozygotes d'un ou plusieurs individus ayant un héritage génétique semblable. Pour être considérée, comme, pure, une lignée doit répondre à certains critères et avoir un nombre minimal de générations en accord avec les conditions énoncées (Jada *et al.*, 2023).

Les gènes intéressants, à introduire dans une espèce donnée, sont identifiés à partir de recherches effectuées au sein d'une variété proche de la même espèce (par croisement intraspécifique). Effectivement, à mesure que la diversité génétique est élevée au sein de l'espèce, les probabilités de trouver le gène souhaité augmentent (Bordes, 2006). Par conséquent, l'étude de la diversité génétique, au sein de l'espèce, ouvre de nombreuses possibilités de découverte du gène d'intérêt.

1.9.2- Création d'une lignée

En pratiquant artificiellement des autofécondations, on obtient des plantes dont la vigueur et la productivité diminuent, qui deviennent de plus en plus uniformes au fil des générations. Une lignée est le fruit des descendants successifs par voie sexuée d'un même individu (Rouanet, 1984). Elle se définit, comme, étant un générateur de gamètes uniformes et dont la constitution génétique est relativement bien connue. Les lignées sont des individus présentant une très grande homogénéité sur le plan génétique. Ils sont homozygotes pour la presque totalité des caractères. Cependant, il existe une variabilité entre les lignées et dans les lignées de première génération (Muhamad *et al.*, 2023). Il est essentiel de créer des lignées pures dans le cadre de la création de variétés hybrides, pour exploiter l'effet d'hétérosis (Gallais, 2015). Les semences de base sont les graines obtenues à partir de ces lignées parentales. Deux méthodes peuvent être choisies par le sélectionneur pour produire des lignées pures : la méthode traditionnelle ou directe, ainsi que les techniques biotechnologiques contemporaines, comme, l'induction de mutations (Sunny *et al.*, 2020).

1.9.3- Sélection génétique classique ou conventionnelle

La sélection traditionnelle, qui repose sur des méthodes novatrices, est la méthode la plus couramment employée, pour la majorité des espèces végétales cultivées. Afin de développer une variété capable de faire face à une contrainte environnementale spécifique, on

combine deux variétés sélectionnées avec soin : l'une offre le fond génétique propice à la productivité, l'autre répond à la contrainte ciblée. Une variété présentant les caractéristiques souhaitées est obtenue après plusieurs cycles de croisements et de sélection sur des critères phénotypiques (Tardieu & Zivy, 2006). Cette sélection traditionnelle s'appuie sur l'utilisation de la diversité naturelle présente au sein de l'espèce, ce qui demande un accès à une grande diversité biologique. Les avancées récentes en biologie moléculaire facilitent cette tâche, car, elles permettent de déterminer les origines génétiques des caractéristiques recherchées (Tardieu & Zivy, 2006).

Une première méthode, pour obtenir des lignées parentales ou lignées pures, est de faire l'autofécondation artificielle des plantes sur plusieurs générations tout en empêchant l'arrivée de grain de pollens étrangers. Ce procédé consiste à envelopper les fleurs femelles de chaque plante, afin de recueillir le grain de pollen de la panicule de la même plante, qui est, ensuite, déposé sur les soies des fleurs femelles. Seules les plantes, qui ont les caractéristiques les plus intéressantes, sont choisies à chaque génération (Demeulenaere & Goldringer, 2017). La pureté des lignées exige entre 8 et 10 générations d'autofécondation, pour atteindre un niveau d'homogénéité agronomique dans les lignées (Bordes, 2006). Il convient de souligner que les graines pures génèrent moins de grain de pollen que les hybrides, et demandent une attention particulière, car, elles sont plus fragiles et plus difficiles à cultiver que les hybrides. Selon Seffi & Zelalem, (2024), le sélectionneur réalise une étude parmi les lignées parentales en cours de développement, afin de repérer celles qui génèrent les meilleurs hybrides. Le test d'aptitude à la combinaison est un processus de sélection des lignées parentales par croisement qui a pour objectif de produire une variété hybride qui répond aux attentes du sélectionneur. Cette étape est essentielle dans la sélection des variétés hybrides (Gilles *et al.*, 2017).

La stratégie, la plus couramment employée, pour la plupart des espèces végétales cultivées, est la sélection classique, qui repose sur l'exploitation de la variabilité naturelle au sein de l'espèce. Toutefois, les avancées récentes, en biologie moléculaire, ont favorisé l'émergence de deux approches mutuelles. La transgénèse permet, d'une part, de transférer des gènes d'autres espèces végétales ou organismes (bactéries, champignons) afin d'améliorer un caractère désiré chez une plante. Cela augmente considérablement la disponibilité des ressources génétiques, en particulier, pour des caractéristiques complexes, telles que la résistance à la sécheresse (Tardieu & Zivy, 2006). La sélection, assistée par marqueurs, quant à elle, apporte une évaluation génétique à la sélection phénotypique traditionnelle. Elle repose sur l'identification et le transfert plus rapides de QTL (locus de caractères quantitatifs) en 4

croisements au lieu de 6-8. Les gènes qui favorisent le caractère recherché, identifiés grâce à des marqueurs moléculaires spécifiques sont utilisés dans une sélection assistée par marqueur. Cette approche accélère, et oriente de manière plus précise le processus de sélection (Tardieu & Zivy, 2006).

1.9.4- Méthode des rayonnements

La deuxième méthode, utilisant des méthodes biotechnologiques contemporaines, nécessite l'induction de mutations, comme, une méthode sûre, pour entraîner des modifications au sein d'une variété. Grâce à cette approche, il est possible de diminuer le temps requis, pour obtenir une nouvelle lignée pure avec des caractéristiques souhaitées. En réalité, en utilisant des substances mutagènes physiques ou chimiques, il est possible de réduire le cycle d'autofécondation de 3 à 5 générations (Amri-Tiliouine, 2020). En produisant des mutants, la mutation facilite la fixation de la lignée pure, et a un effet important sur l'amélioration des plantes. En effet, lorsque les gènes désirés ne sont pas présents dans le patrimoine génétique pour faire face à différentes contraintes biotiques ou abiotiques, les sélectionneurs se tournent vers les mutations induites, afin de fixer les gènes. Ce processus aboutit à la création d'un mutant, et après trois à cinq générations d'autofécondation, une lignée pure est obtenue (Jain, 2005).

1.9.5- Mutation

L'évolution repose sur la mutation, c'est-à-dire un changement héréditaire dans la composition génétique d'un être humain. Ces mutations peuvent survenir dans la nature en raison d'erreurs dans la réplication de l'ADN ou d'exposition aux rayonnements naturels d'environnants, ce qui donne naissance à des individus mutants spontanés. En outre, l'homme peut provoquer des mutations de manière artificielle, en utilisant des rayons UV, des radiations ionisantes ou des composés chimiques mutagènes (Spencer-Lopes *et al.*, 2020). Il existe diverses formes de mutations, comme, des substitutions, des additions/insertions ou des délétions au niveau des paires de nucléotides de la séquence d'ADN. Si les modifications touchent un seul ensemble de bases, on parle de mutations occasionnelles. Ces mutations, qu'elles soient naturelles ou induites, créent de nouveaux traits héréditaires qui peuvent être sélectionnés dans la nature ou artificiellement par l'homme, favorisant ainsi l'évolution (Hans, 2007). De plus en plus de mutants sont obtenus par irradiation.

L'irradiation consiste à exposer le produit à traiter à un flux de rayonnements ionisants qui peut être généré par un accélérateur de particules ou par une source radioactive, le plus

souvent du cobalt 60, parfois du césium 137. Les rayonnements, sont, alors émis en continu et aussi, longtemps que la source reste active (Sana, 2007).

1.9.6- Différents types de rayonnements

1.9.6.1- Rayonnement alpha (α)

Le rayonnement alpha consiste en une série de particules lourdes et chargées, souvent, à haute énergie. Ce faisceau de particules passe à travers la matière et touche les électrons de la périphérie des atomes du matériau traversé, ce qui les excite où les ionise. Ce processus se déroule à une distance très réduite : les rayonnements alpha ont un pouvoir de pénétration faible (une simple feuille de papier les arrête complètement) et, donc, le dépôt d'énergie, par unité de longueur traversée, sera élevé. Des excitations et des ionisations se produiront lorsque cette énergie sera dissipée dans la matière traversée (CUSSTR, 2005).

1.9.6.2- Rayonnement bêta (β)

Le rayonnement bêta est un faisceau de particules légères et chargées, composé d'électrons ou de positrons. Il entre en contact avec la matière en déclenchant des excitations et des ions. Les électrons et les positrons parcourent plus de distance dans la matière que les particules alpha (environ quelque mètre maximum dans l'air). Ceux-ci sont des électrons qui se déplacent à grande vitesse. Une plaque de plexiglas de 1 cm d'épaisseur arrête ce rayonnement. L'épaisseur des feuilles est souvent mesurée dans les fabriques de papier à l'aide de sources de rayonnement β (CUSSTR, 2005).

1.9.6.3 - Rayonnement gamma (γ)

Le rayonnement gamma est un noyau atomique non déséquilibré baryonique, mais, dans un état d'énergie instable. La libération d'un photon très énergétique, donc, très pénétrant, nécessite plusieurs centimètres de plomb pour l'arrêter. Ce sont des ondes électromagnétiques similaires à la lumière, mais, avec une énergie extrêmement élevée. Parmi les exemples d'utilisation du rayonnement γ , on peut citer la radiographie de soudures et la radiothérapie médicale (CUSSTR, 2005). Les rayonnements gamma et leurs effets à haute dose sur les organismes vivants sont employés pour entraîner des mutations dans le but d'accroître la diversité des espèces végétales cultivées et de faciliter les processus de sélection (Prouillac, 2006).

1.9.6.4- Rayonnement X

Les rayonnement X sont du même genre que le rayonnement γ , mais, sont émis par l'enveloppe électronique de l'atome et non par le noyau. Le rayonnement X est, aussi,

extrêmement puissant. La radiographie est l'utilisation la plus répandue des rayons X dans le domaine du diagnostic médical (CUSSTR, 2005).

1.9.6.5- Rayonnement neutronique

Il s'agit de neutrons émis lors de la fission de noyaux lourds ou obtenus en bombardant certains noyaux avec des particules α (réaction α -n). L'application la plus courante des sources de neutrons est la mesure de l'humidité des sols (CUSSTR, 2005).

1.10- Effets des radiations ionisantes

1.10.1- Notion de radiosensibilité chez les végétaux

La sensibilité aux rayonnements des plantes varie en fonction de divers éléments, telles que l'espèce étudiée et la quantité d'irradiation. La « faible dose » désigne une quantité inférieure à laquelle les organismes peuvent mettre en place des mécanismes de réparation et de détoxification efficaces, afin de surmonter le stress subi. Toutefois, cette idée peut différer en fonction du type d'organisme (Chenal *et al.*, 2000). Les plantes présentent une résistance aux rayonnements supérieure à celle des animaux, principalement grâce à leur métabolisme secondaire adapté aux agressions environnementales. À titre de comparaison, une dose mortelle pour l'homme est de 8 Grays. Les plantules d'*Arabidopsis thaliana* peuvent supporter jusqu'à 40 Grays sans dommage (Zaka *et al.*, 2004). Le stade de croissance de la plante irradiée est, également, crucial. En général, les doses utilisées sont d'environ une dizaine ou une centaine de Grays, pour les plantes en croissance, tandis que des doses de l'ordre du kGy sont plus fréquentes pour l'irradiation de graines sèches, plus résistantes. Finalement, les organes qui possèdent des zones de division cellulaire sont davantage exposés aux rayonnements ionisants (Vandenhove *et al.*, 2010).

1.10.2- Effets morphologiques

Le premier effet visible, chez les plantes après irradiation, est le retard ou l'arrêt de la croissance. Il peut varier en fonction de la dose appliquée et avoir un impact sur les biomasses ou les dimensions des organes. L'irradiation de 10 Gy chez *Pisum sativum*, a entraîné une diminution de la masse sèche (Jones *et al.*, 2004). La croissance de *Nicotiana tabacum* est, également, inhibée par une dose de 200 Gy. À cet égard, les racines sont, souvent, plus vulnérables que les parties aériennes et peuvent, entre autres, faire ressortir l'effet de très faibles doses d'irradiations chroniques (Vandenhove *et al.*, 2010). Chez *Arabidopsis thaliana*, un arrêt momentané de la croissance a été observé, pour des doses de 50 à 150 Gy, selon les conditions (Culligan *et al.*, 2006 ; Kurimoto *et al.*, 2010). À des doses plus élevées, certains symptômes

supplémentaires peuvent apparaître, comme, la formation de nouveaux trichomes et poils racinaires ou l'expansion radiale des cellules racinaires. Des altérations, au niveau des chloroplastes, des mitochondries et du réticulum endoplasmique, ont été mises en évidence chez *Arabidopsis thaliana* par microscopie électronique, après une irradiation de 50 Gy (Wi *et al.*, 2007). Elles sont, principalement, le résultat de la peroxydation lipidique au niveau des membranes (Vanhoudt *et al.*, 2010) qui conduit à une perturbation des structures subcellulaires, notamment, des organites qui sont le siège du métabolisme énergétique de la plante (respiration, photosynthèse). Ainsi, l'observation des plantes irradiées révèle, majoritairement, des effets négatifs, voire destructeurs des radiations ionisantes. Toutefois, il a été observé des signes de stimulation de la croissance après des doses faibles, comme, sur *Capsicum annuum*, chez qui des éléments de croissance, tels qu'une amélioration de la taille des plantes, du nombre de feuilles et du poids sec des fruits, après des expositions de 1 Gy, 2 Gy et 5 Gy (Kwon *et al.*, 2001 ; Kim *et al.*, 2005).

1.11- Quelques résultats obtenus sur les mutations

La mutation induite a été utilisée, pour améliorer les plantes dans différentes cultures, afin de produire des variations génétiques. Différentes doses de rayons gamma ont été utilisées pour traiter les semences d'arachide (100, 200, 400 et 600 Gy). Selon Lukanda *et al.* (2013), le traitement à 100 Gy a permis d'obtenir une augmentation significative du rendement en grains et d'autres paramètres agromorphologiques, notamment, pour la variété JL24. En réalité, la radiation gamma à 100 Gy a, considérablement, amélioré la productivité des grains, avec une augmentation de 14 % pour JL24 et de 4 %, pour JL12. Chez JL12, le nombre de gousses par plante a augmenté de 2 % et chez JL24, de 37 %. En ce qui concerne le nombre de graines par plante, il y a eu une hausse notable de 8 %, pour JL12 et 62 %, pour JL24 à 100 Gy. Une tendance similaire a été observée, pour le JL24 à une dose de 200 Gy. Des doses plus élevées de rayons gamma (400 et 600 Gy) ont réduit la croissance des plantes et le rendement des céréales (Lukanda *et al.*, 2013).

Les niveaux de variation étaient différents en fonction des variétés. Les potentiels mutants à haut rendement dans les progénitures de graines irradiées ont été repérés (Mudibu *et al.*, 2012). Une autre étude a été menée sur l'influence de l'intensité du rayonnement sur la croissance et sur le rendement en huile essentielle de *Baccharis Trimeria*. La croissance des plantes a été étudiée sous quatre niveaux de rayonnement : 100, 60, 50 et 20 Grays pendant une période de 259 jours. Les plantes étaient évaluées pour la taille, le nombre de nœuds, les branches, le diamètre de la tige (à la hauteur du côlon), la formation de la biomasse et le contenu

et la composition de l'huile. Le plus haut niveau de rayonnement a amélioré toutes les variables évaluées, à l'exception de la hauteur, qui diminue avec l'augmentation du rayonnement. La teneur en huile essentielle a également augmenté avec le niveau croissant de rayonnement (Silva *et al.*, 2006).

Chez le maïs, l'éthylméthane sulfonate (EMS) est un agent chimique couramment employé, avec des doses variant généralement de 0,1 à 1 % en fonction de la sensibilité de la plante. De même, le nitrate d'éthyl, un autre agent chimique, est utilisé à des doses généralement comprises entre 0,1 et 0,5 % (Deivanai *et al.*, 2023). Pour les mutations induites par des agents physiques tels que les radiations ionisantes comme les rayons gamma ou les rayons X, les doses varient en fonction du type de radiation et de l'équipement utilisé, avec des doses typiques allant de 100 à 500 Gy (Jan *et al.*, 2012). Les neutrons rapides, un autre agent physique, peuvent également induire des mutations chez le maïs, avec des doses généralement situées entre 1 et 10 Gy, variant en fonction de la sensibilité de la plante à ce mutagène. (Oladosu *et al.*, 2016).

2- GESTION DES GRAINS DE POLLEN

Le grain de pollen joue un rôle crucial dans la production de lignées pures, permettant d'obtenir des plantes homozygotes, pour tous leurs gènes, ce qui stabilise les caractères intéressants pour la sélection. Par ailleurs, il est utilisé dans des techniques de culture *in vitro*, comme l'androgenèse, pour générer des plantes haploïdes, facilitant, ainsi, l'obtention rapide de lignées pures, pour la recherche en génétique et l'amélioration variétale. De plus, le grain de pollen peut être conservé dans des banques de gènes, préservant, ainsi, la diversité génétique des espèces végétales et offrant aux sélectionneurs un accès à un large éventail de gènes, y compris ceux liés à la résistance aux maladies et à la tolérance aux stress environnementaux.

2.1- Conservation du grain de pollen *in vitro*

La conservation du grain de pollen revêt une importance capitale dans de nombreux domaines, notamment, en agriculture, en recherche et en conservation de la biodiversité (Fernández, 2014). Dans l'amélioration des plantes, les banques de gènes jouent un rôle crucial dans la préservation de la diversité génétique. Le grain de pollen est une ressource génétique précieuse pour la constitution de ces banques, permettant ainsi de préserver la diversité génétique des espèces cultivées et sauvages. Cela assure une base solide, pour les futurs programmes d'amélioration génétique. De plus, le grain de pollen peut être utilisé pour créer de nouvelles variétés de plantes dotées de caractères améliorées, telles que la résistance aux maladies, la tolérance à la sécheresse ou un rendement accru. La conservation du grain de pollen

permet d'avoir accès à un pool génétique diversifié pour réaliser des croisements contrôlés, facilitant le développement de variétés végétales améliorées, adaptées aux besoins spécifiques et aux défis de l'agriculture (Dar *et al.*, 2020). En outre, le grain de pollen peut être utilisé pour sauver des espèces en voie de disparition ou pour renforcer des populations fragilisées (Jansen, 2017).

En recherche, l'étude du grain de pollen revêt une importance cruciale dans plusieurs domaines. L'analyse du grain de pollen permet d'explorer la diversité génétique au sein d'une espèce, facilitant l'identification des gènes responsables des caractéristiques d'intérêt. De plus, le grain de pollen fossile constitue une source d'informations précieuses pour comprendre l'évolution des plantes et les variations climatiques passées. En outre, la conservation du grain de pollen est essentielle pour approfondir les connaissances en biologie de la reproduction, en permettant l'étude des mécanismes de fécondation et de reproduction sexuée chez les plantes. Ces recherches contribuent à élargir la compréhension de la génétique des plantes, de leur évolution et de leur biologie reproductive (Dresselhaus, 2016).

En matière de conservation de la biodiversité, le grain de pollen joue un rôle essentiel. D'une part, il est utilisé, pour la cryoconservation du matériel génétique d'espèces en danger, assurant ainsi, leur préservation, pour les générations à venir. Cette approche permet de constituer des réserves génétiques, pour la sauvegarde des espèces menacées. D'autre part, la conservation du grain de pollen est, également, bénéfique pour la restauration des écosystèmes. En effet, en utilisant le grain de pollen conservé, il est possible de rétablir les populations végétales dans des environnements dégradés, contribuant, ainsi, à la réhabilitation et à la préservation de la diversité biologique au sein de ces écosystèmes fragilisés (Howe, 2014).

2.2- Méthodes de conservation du grain de pollen

2.2.1- Conservation à court terme

La dessiccation du grain de pollen, qui implique la réduction de sa teneur en eau par des procédés physiques, tels que le séchage à l'air libre ou sous vide, présente, à la fois, des avantages et des inconvénients. Cette méthode est simple et économique, ce qui en fait une option attrayante pour la conservation du grain de pollen. Cependant, elle comporte des inconvénients significatifs. Il existe un risque de dégradation des constituants cellulaires du grain de pollen par oxydation, lors du processus de dessiccation, ce qui peut altérer sa qualité et sa viabilité. De plus, la perte de viabilité du grain de pollen desséché survient plus rapidement que par d'autres méthodes de conservation, limitant, ainsi, sa durée de stockage. Ces inconvénients soulignent la nécessité d'évaluer attentivement les compromis entre la simplicité

et les effets potentiels sur la viabilité du grain de pollen, lors du choix de la méthode de conservation appropriée (Dellinger, 2020).

La lyophilisation du grain de pollen repose sur un processus de congélation rapide, suivi d'une sublimation de la glace sous vide. La congélation du grain de pollen commence par son placement dans un congélateur à des températures très basses, généralement entre -20°C et -80°C , afin de former des cristaux de glace de petite taille et de minimiser les dommages cellulaires. Une fois complètement congelé, le grain de pollen est transféré dans un lyophilisateur, où un vide est créé autour de lui. Dans cette condition de basse pression, la glace passe directement de l'état solide à l'état gazeux sans fondre, et la vapeur d'eau est ensuite condensée et piégée dans un piège froid. Après cette sublimation, le séchage secondaire permet d'éliminer l'eau résiduelle adsorbée en abaissant davantage la pression ou en augmentant légèrement la température, tout en veillant à ne pas dépasser un seuil qui pourrait endommager le grain de pollen. Cette méthode présente des avantages substantiels, notamment, une réduction significative de l'activité métabolique du grain de pollen et une meilleure préservation de ses structures cellulaires (Dellinger, 2020). Cependant, la lyophilisation comporte des inconvénients notables. Le coût élevé de l'équipement nécessaire, pour ce processus, constitue un obstacle financier important (Yao, 2023). De plus, la lyophilisation exige un protocole rigoureux et précis, pour garantir l'efficacité de la conservation du grain de pollen. Malgré ses avantages en termes de préservation des caractéristiques cellulaires du grain de grain de pollen, la lyophilisation nécessite des investissements financiers et une expertise approfondie, pour être mise en œuvre de manière efficace (Edwards *et al.*, 2023).

Le stockage à basse température, qui consiste à conserver le grain de pollen à une température proche de 0°C , présente des avantages et des inconvénients. Cette méthode est simple et efficace, pour une conservation à court terme du grain de pollen, pouvant varier de quelques semaines à quelques mois, en fonction des espèces végétales et des conditions spécifiques de conservation, offrant une solution pratique, pour maintenir sa viabilité pendant une période limitée. Cependant, des inconvénients sont associés à cette approche (Benson, 2008). Il existe un risque de formation de cristaux de glace, lors du stockage à basse température, ce qui peut altérer progressivement la viabilité du grain de pollen. Cette altération pourrait limiter la durée pendant laquelle le grain de pollen conserve sa capacité de germination et sa vitalité, soulignant, ainsi, la nécessité de prendre en compte ces facteurs lors du choix de la méthode de conservation la plus adaptée, pour des périodes de conservation à court terme (Müller, 2016).

2.2.2- Conservation à long terme

La cryoconservation représente une méthode de conservation à long terme du grain de pollen, impliquant le stockage à des températures extrêmement basses, généralement, dans de l'azote liquide à -196 °C. Cette approche présente des avantages significatifs, tels que l'arrêt quasi complet des réactions métaboliques, permettant un maintien prolongé de la viabilité du grain de pollen sur de longues périodes (Khan *et al.*, 2024). Cependant, la cryoconservation nécessite un équipement spécialisé et une manipulation délicate, pour garantir la préservation efficace du matériel génétique. Des protocoles spécifiques sont suivis, incluant l'utilisation de cryoprotecteurs, tels que le glycérol ou le diméthylsulfoxyde, pour protéger les cellules contre les dommages causés par la formation de cristaux de glace (Murra & Gibson 2022). La vitrification, qui implique une congélation ultra-rapide, pour obtenir un état vitreux sans formation de cristaux, est, également, utilisée (Amini & Benson, 2023).

2.2.3- Facteurs influençant la conservation du grain de pollen

Plusieurs facteurs influencent le succès de la cryoconservation, tels que le choix du cryoprotecteur, les taux de congélation et de décongélation, ainsi que, les conditions de stockage à long terme. Cette méthode offre une solution efficace, pour la préservation à long terme du grain de pollen, mais demande une attention particulière à tous les aspects du processus, pour assurer le maintien de la viabilité du matériel génétique (Althiab *et al.*, 2024). Au sein d'une même espèce, les différentes variétés peuvent présenter des comportements distincts. De plus, le stade de maturité du pollen, lors de la récolte, influence directement sa capacité de conservation (Dahl *et al.*, 2013).

Les conditions de stockage jouent un rôle essentiel dans la préservation du grain de pollen. La température est un paramètre crucial, car, des températures basses ralentissent les réactions métaboliques, et limitent la dégradation du grain de pollen (Pacini & Dolferus, 2019). L'humidité est, également, un facteur important, car, un taux élevé favorise le développement de micro-organismes et la détérioration du grain de pollen. L'atmosphère dans laquelle le pollen est conservé est importante, car, la présence d'oxygène peut accélérer l'oxydation des lipides et des protéines (Abdulmumeen *et al.*, 2012). La lumière doit être prise en compte, car, elle peut contribuer à la dégradation de certains composés du grain de pollen. Ainsi, contrôler attentivement la température, l'humidité, l'atmosphère et l'exposition à la lumière est essentiel, pour assurer une conservation efficace du pollen sur le long terme (Althiab *et al.*, 2024).

2.3- Tests de viabilité du grain de pollen

L'évaluation de la viabilité du grain de pollen est essentielle pour plusieurs raisons majeures (Masthigowda *et al.*, 2022). Dans le cadre de la sélection de matériel végétal, pour l'amélioration des cultures, il est impératif de s'assurer que le grain de pollen utilisé est viable, c'est-à-dire capable de féconder efficacement les ovules et de produire une descendance saine et robuste. Sans cette évaluation préalable, les croisements et hybridations pourraient être inefficaces, entraînant une perte de temps et de ressources pour les programmes de sélection végétale (Ascari *et al.*, 2020).

2.4- Méthodes de test de viabilité du grain de pollen

2.4.1- Observation directe au microscope

L'observation directe au microscope représente une méthode fondamentale, pour évaluer l'intégrité morphologique des grains de grain de pollen. Ce procédé repose sur l'examen visuel des caractéristiques morphologiques du grain de pollen à un niveau microscopique (Uddin *et al.*, 2018). Ses avantages résident dans sa simplicité et sa rapidité, ne nécessitant pas l'utilisation de matériel coûteux ou complexe. Cependant, cette approche présente des inconvénients, notamment, en raison de la subjectivité inhérente à l'évaluation visuelle. De plus, bien que l'observation directe au microscope permette d'analyser la structure externe du grain de pollen, elle ne fournit pas d'informations sur sa viabilité physiologique, ce qui limite sa capacité à évaluer pleinement la capacité du grain de pollen à féconder et à produire une descendance viable (Ascari *et al.*, 2020).

2.4.2- Coloration

L'utilisation de colorants vitaux repose sur un principe clé : ces colorants ont la capacité de pénétrer exclusivement dans les cellules vivantes, les colorant de manière spécifique (Suryowati, 2024). Cette méthode est hautement efficace, pour différencier les grains de grain de pollen vivants des grains morts. Ses avantages résident dans sa simplicité et sa rapidité, offrant une solution pratique, pour évaluer la viabilité du grain de pollen. Cependant, cette approche comporte des inconvénients notables (Rees *et al.*, 2022). Le choix du colorant est un aspect important, car certains colorants utilisés peuvent être toxiques pour le grain de pollen, ce qui pourrait fausser les résultats de l'analyse ou entraîner des dommages aux cellules vivantes. Ainsi, bien que les colorants vitaux soient une méthode précieuse, pour évaluer la viabilité du grain de pollen, il est essentiel de prendre en compte attentivement le choix du colorant afin de garantir des résultats fiables et non préjudiciables pour le matériel végétal étudié (Taliane *et al.*, 2013).

Les colorants vitaux sont des substances colorées qui pénètrent à l'intérieur des cellules vivantes sans les altérer de manière significative. Ils permettent, ainsi, de visualiser certaines structures cellulaires et d'évaluer l'état physiologique de la cellule (Penman *et al.*, 2024). Parmi ces colorants figurent le carmin acétique et le bleu de coton.

➤ **Carmin acétique**

Le carmin acétique agit en se liant spécifiquement aux acides nucléiques, en particulier, à l'ADN présent dans le noyau cellulaire. Lorsqu'il pénètre dans une cellule vivante, il colore le noyau d'un rouge vif. Cette propriété en fait un outil précieux, pour l'évaluation du grain de pollen, car, en colorant spécifiquement le noyau, le carmin acétique permet de visualiser l'intégrité du matériel génétique. Un noyau bien coloré et centré dans la cellule est, souvent, indicatif d'une bonne viabilité, fournissant, ainsi, des informations sur la santé et la fonctionnalité du grain de pollen évalué (Banerjee *et al.*, 2022).

➤ **Bleu de coton**

Le bleu de coton agit en colorant le cytoplasme des cellules vivantes, se fixant sur les protéines et les acides nucléiques présents dans cette partie cellulaire. Cette coloration permet d'évaluer des aspects, tels que la densité du cytoplasme, la présence de vacuoles et d'autres inclusions (Zakharova *et al.*, 2024). Un cytoplasme dense et homogène, observé grâce à la coloration au bleu de coton, est, souvent, indicatif d'une bonne viabilité du grain de pollen, fournissant, ainsi, des indices importants sur la santé et la fonctionnalité des cellules de grain de pollen étudiées (Sagili *et al.*, 2024).

2.5- Germination du grain de pollen

La germination du grain de grain de pollen est évaluée en cultivant le grain de pollen dans un milieu adéquat et en mesurant la formation du tube pollinique au microscope optique, qui témoigne de sa viabilité. Cette méthode offre l'avantage d'être directe, et précise, pour évaluer la capacité du grain de pollen à germer et à produire un tube pollinique fonctionnel (Weng *et al.*, 2023). Cependant, elle nécessite du temps, et peut être influencée par les conditions de culture, ce qui peut parfois affecter les résultats. Il existe deux principaux types de tests de germination : *in vitro*, où le grain de pollen est placé sur un milieu de culture artificiel, tel que de l'agar ou de la gélose, et *in vivo*, où le grain de pollen est déposé sur le stigmate d'une fleur réceptive, simulant, ainsi, des conditions naturelles de pollinisation. Ces

deux approches offrent des informations précieuses sur la viabilité du grain de pollen et sa capacité à accomplir avec succès la fécondation des ovules (Ashrafuzzaman, 2024).

3- GÉNÉRALITÉS SUR ANDROGENÈSE

3.1- Définition et principe

L'androgenèse est un processus de reproduction asexuée qui consiste au développement d'une plante entière, à partir d'une cellule haploïde mâle, généralement, un gamète mâle ou une cellule de grain de pollen. C'est une technique d'amélioration des plantes qui permet d'obtenir des individus homozygotes, pour tous leurs gènes, ce qui est particulièrement intéressant pour fixer des caractères intéressants et créer de nouvelles variétés (Hörandl, 2024).

3.2- Étapes de l'androgenèse

L'androgenèse, qui est le processus de développement des plantes à partir des cellules reproductrices mâles, commence par l'induction de la division cellulaire. Cette phase initiale vise à inciter la cellule de grain de pollen à se diviser, souvent, par le biais de traitements, tels que des chocs thermiques, des chocs osmotiques ou l'utilisation de substances chimiques comme les colchicines. Ces méthodes perturbent le fuseau mitotique et favorisent la polyploïdisation (Maraschin *et al.*, 2005).

Ensuite, vient l'embryogenèse, où la cellule de grain de pollen activée commence à se diviser pour former un embryon, qui peut se développer, soit directement, à partir de la cellule de grain de pollen (embryogenèse directe), soit à partir d'un tissu callogène, dérivé de la culture de la cellule de grain de pollen (embryogenèse indirecte) (Soriano & Boutilier, 2013).

Le processus se termine par la régénération de la plante, où l'embryon formé est transféré sur un milieu de culture adapté, pour sa croissance en une plante mature. Ces étapes clés de l'androgenèse sont essentielles pour la production de plantes à partir des cellules reproductrices mâles, et ont des applications importantes en amélioration végétale et en biotechnologie (Pan *et al.*, 2024).

3.3- Facteurs influençant l'androgenèse

Le processus de développement des plantes, à partir des cellules reproductrices mâles, est influencé par plusieurs facteurs clés. Tout d'abord, le génotype joue un rôle crucial. En effet, la capacité d'une plante à produire des embryons à partir de cellules de grain de pollen varie significativement selon le génotype. Certains génotypes répondent de manière plus favorable aux traitements d'induction que d'autres (Xue *et al.*, 2024). Ensuite, les conditions de culture

sont des éléments déterminants. Des paramètres, tels que la composition du milieu de culture, la température, la lumière et l'aération ont un impact significatif sur le succès de l'androgenèse (Malabadi *et al.*, 2023).

Les traitements chimiques, utilisés pour induire la division cellulaire et favoriser l'embryogenèse, sont des facteurs clés. La nature et la concentration des substances chimiques peuvent avoir des effets variables sur le processus d'androgenèse, soulignant l'importance de choisir avec soin les traitements pour obtenir des résultats optimaux. En contrôlant ces facteurs, il est possible d'améliorer l'efficacité de l'androgenèse, pour la production de plantes à des fins de recherche ou d'amélioration génétique (Ming, 2005).

3.4- Applications de l'androgenèse

3.4.1- Amélioration des plantes

L'androgenèse, en permettant l'obtention d'individus homozygotes pour tous leurs gènes, est essentielle pour la création de lignées pures. Cette caractéristique est, particulièrement, utile pour la fixation de traits spécifiques, tels que la résistance aux maladies ou la tolérance à la sécheresse, dans les plantes. Ces lignées pures offrent une stabilité génétique importante, pour la sélection et la propagation de caractères désirables (Mishra & Rao, 2016).

Cette approche permet de capitaliser sur les avantages de l'androgenèse pour la fixation des caractères. Elle utilise également d'autres méthodes pour introduire la diversité génétique, ouvrant ainsi la voie à la création de variétés hybrides présentant des caractéristiques agronomiques optimales et adaptées aux besoins spécifiques des agriculteurs et de l'industrie agricole (Magdalena *et al.*, 2024).

3.4.2- Rôles de l'androgenèse

L'androgenèse est un outil précieux, pour l'étude du développement végétal car elle permet de plonger profondément dans les mécanismes moléculaires et cellulaires qui régissent le développement d'une plante à partir d'une seule cellule. En utilisant l'androgenèse, les chercheurs peuvent observer et manipuler le processus de développement végétal de manière contrôlée. Cela leur offre des informations précieuses sur les voies de signalisation, les interactions génétiques et les régulations cellulaires impliquées dans la différenciation cellulaire et la morphogenèse (Pathi & Sprink, 2023). Par ailleurs, l'androgenèse peut, également, être un outil pour la conservation des ressources génétiques. En utilisant cette technique, il est possible de conserver des espèces végétales menacées en multipliant des individus, à partir de cellules reproductrices mâles, offrant, ainsi, une solution, pour préserver la diversité génétique et éviter

l'extinction de ces espèces (Salgotra & Chauhan, 2023). De plus, l'androgenèse peut être employée, pour multiplier des génotypes rares ou précieux, permettant, ainsi, de préserver et de propager des caractéristiques uniques ou des traits spécifiques qui pourraient être perdus autrement. En résumé, l'androgenèse joue un rôle important, non seulement, dans la recherche fondamentale sur le développement végétal, mais, aussi, dans la conservation et la multiplication des ressources génétiques précieuses pour l'avenir (Chen *et al.*, 2023).

3.5- Double haploïde par androgenèse

La double haploïdie (DH) est une technique essentielle en amélioration des plantes, permettant d'obtenir rapidement des lignées pures et homogènes. L'androgenèse, qui consiste à produire des haploïdes, à partir de tissus antheriques, est l'une des méthodes les plus couramment utilisées, pour générer ces plantes haploïdes (Hale *et al.*, 2022)

3.5.1- Techniques de Culture

Différentes techniques de culture sont utilisées pour induire l'androgenèse, notamment la culture des anthères et la culture des microspores.

➤ Culture d'anthères

La méthode consiste à cultiver directement les anthères pour favoriser le développement embryonnaire. La culture d'anthères débute par la collecte des anthères prélevées sur des fleurs en développement, généralement, au stade de microspore, un choix crucial qui influence le taux de régénération embryonnaire. Pour éviter toute contamination, ces anthères doivent être stérilisées, en les trempant dans des solutions désinfectantes, comme l'eau de Javel ou l'éthanol, suivies d'un rinçage à l'eau distillée (Bhaskara, 2017). Les anthères stérilisées sont placées sur un milieu de culture approprié, riche en nutriments essentiels, hormones de croissance (telles que l'auxine et la cytokinine) et agents gélifiants, pour favoriser le développement embryonnaire. Elles sont incubées dans des conditions contrôlées de température, d'humidité et de lumière, généralement, à 25 °C, avec une photopériode de 16 heures de lumière, ce qui est essentiel pour la formation d'embryons haploïdes (Kaushal *et al.*, 2023).

➤ Culture de microspores

Une méthode plus avancée qui permet un meilleur contrôle sur le développement des embryons haploïdes est la culture des microspores.

Les microspores sont extraites des anthères, généralement, au stade de microspore unicellulaire, qui est important, pour leur conversion en embryons haploïdes. À ce stade, les

microspores sont les plus réceptifs aux conditions de culture, ce qui maximise leur potentiel de régénération embryonnaire. La collecte doit être réalisée avec soin, pour garantir la qualité des microspores, car, leur état initial influencera directement le succès ultérieur de la culture (Corral-Martinez *et al.*, 2020). Pour prévenir toute contamination, les microspores doivent subir une stérilisation rigoureuse, similaire à celle appliquée lors de la culture d'anthères. Cette étape est essentielle pour assurer un environnement de culture propre. La stérilisation peut être effectuée à l'aide de solutions désinfectantes, telles que l'eau de Javel ou l'éthanol, suivies d'un rinçage à l'eau distillée. Une bonne stérilisation réduit le risque de contamination microbienne, ce qui est crucial pour une croissance réussie des embryons haploïdes (Sarma *et al.*, 2023). Après la stérilisation, les microspores sont placées dans un milieu de culture spécifique qui favorise leur croissance. La préparation du matériel végétal commence par le choix d'une plante mère de maïs présentant un génotype intéressant pour l'amélioration variétale. Les anthères, qui contiennent le grain de pollen, sont prélevées des fleurs mâles (panicules) au stade de développement approprié, généralement avant la libération du grain de pollen, car ce stade est crucial pour obtenir une bonne réponse androgénétique. Une fois prélevées, les anthères sont stérilisées pour éliminer les micro-organismes afin d'éviter toute contamination durant la culture *in vitro*. Elles sont ensuite placées sur un milieu de culture nutritif spécifique, contenant des sels minéraux, des vitamines, des sucres, et des hormones végétales, ce qui induit la division cellulaire des microspores. Ces dernières se développent alors en embryons haploïdes, qui sont transférés sur un milieu de germination pour favoriser leur croissance. Enfin, les plantules haploïdes subissent un traitement à la colchicine pour doubler leur nombre de chromosomes, les transformant en plantes diploïdes homozygotes, appelées plantes double haploïdes (DH). Les microspores sont, ensuite, incubées dans des conditions contrôlées, souvent, à une température de 25 °C et sous une lumière adaptée, ce qui favorise leur division cellulaire et leur différenciation en embryons haploïdes. Ce processus peut être surveillé et ajusté, pour optimiser le taux de régénération (Corral-Martinez *et al.*, 2020).

4- Zone d'étude

4.1- Localisation

Les travaux de la présente étude ont été réalisés sur le site expérimental de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) et, aussi, dans l'unité de culture *in vitro* du laboratoire d'amélioration des productions agricole (Figure 7). Daloa est située entre 6°53'38 de latitude nord et 6°27'0 de longitude ouest et est le chef de région du Haut-Sassandra (Soro, 2015).

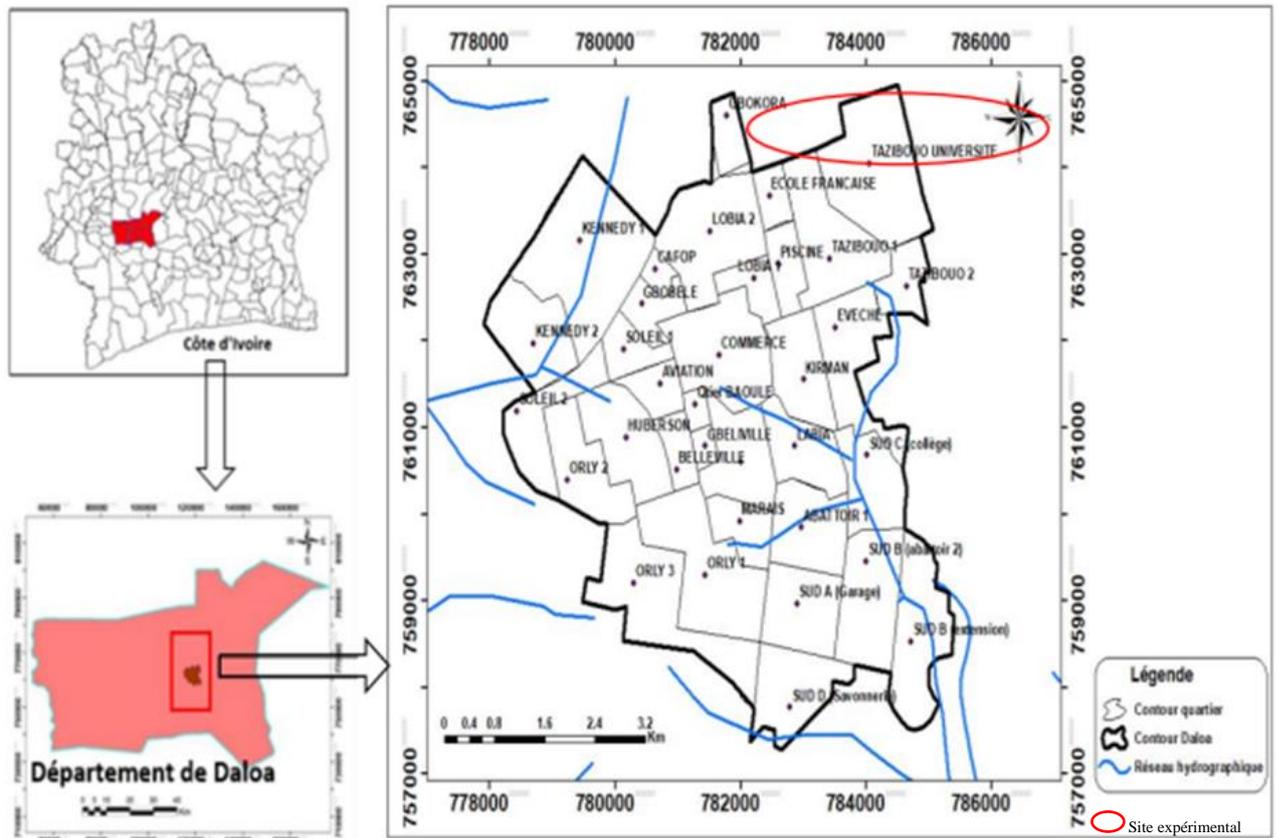


Figure 7 : Localisation géographique du site d'étude

4.2- Climat

La région du Haut-Sassandra bénéficie d'un climat de type subéquatorial (Eldin, 1971 ; Declert, 1990). En 2020, les précipitations totales annuelles y ont été de 930,62 mm. L'analyse de l'évolution des températures et des précipitations moyennes mensuelles sur les trente dernières années révèle certaines tendances (Figure 8). Les températures les plus élevées sont observées entre novembre et avril, avec des valeurs variantes entre 24,58 et 28,16 °C et une moyenne de 26,47 °C. Les précipitations, quant à elles, atteignent leur valeur les plus élevées entre mars et octobre, tandis qu'elles sont plus faibles de novembre à février avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1 317 mm (Yeboue *et al.*, 2022). Ce constat traduit l'existence d'une saison sèche de quatre mois, de novembre à février, suivie d'une grande saison pluvieuse de huit mois, de mars à octobre.

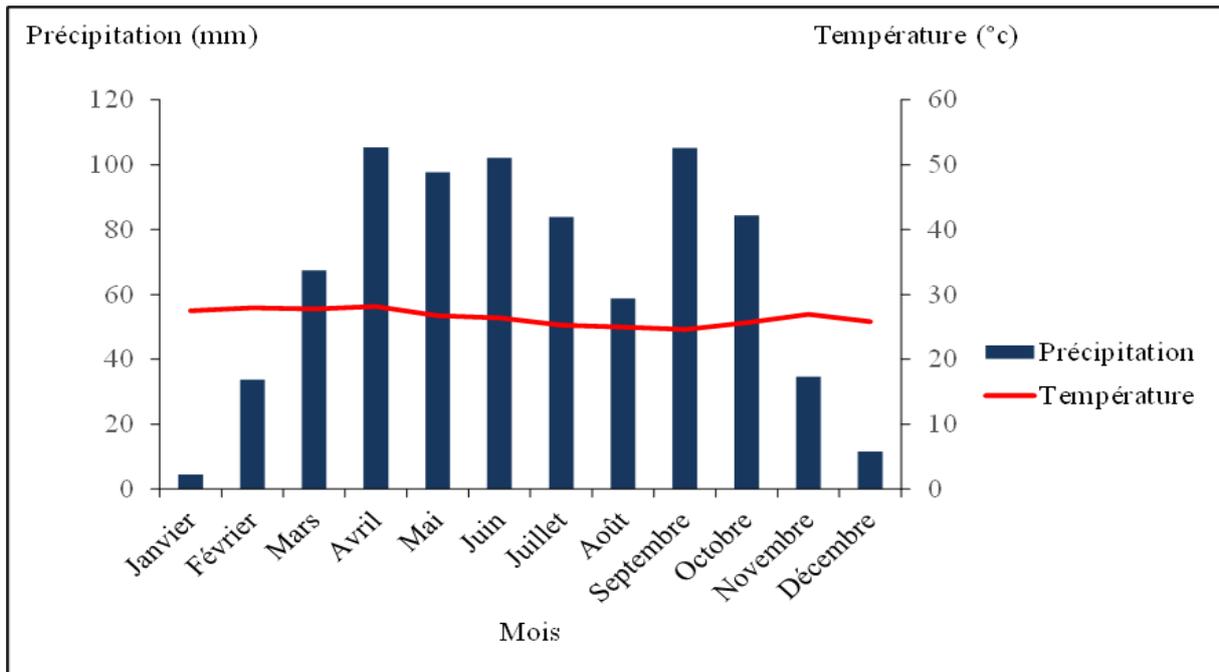


Figure 8 : Diagramme ombrothermique de la zone de Daloa de 1991 à 2020

(SODEXAM, 2020)

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

1- ÉVALUATION AGROMORPHOLOGIQUE DE 14 LIGNÉES DE MAÏS OBTENUES APRÈS AUTOFÉCONDATIONS DES GRAINES DE LA VARIÉTÉ EV8728 IRRADIÉE AU RAYONNEMENT GAMMA

1.1- Matériel

1.1.1- Matériel Végétal

Le matériel végétal est constitué de 14 lignées de maïs (*Zea mays*), à grains rouge et blanc, obtenues par autofécondations successives (5 générations) de plantes, issues de semences de la variété EV8728, irradiées aux rayonnements gamma aux doses 200 (8 lignées) et 300 grays (6 lignées). Le choix a porté sur les semences de la 5^e génération, car à ce niveau, tous les nouveaux caractères générés par l'irradiation sont stabilisés.

En plus des 14 lignées, l'autofécondation des plantes issues des semences mères de la variété EV8728 non irradiées (Figure 9), a permis d'obtenir la lignée témoin. Les semences mères, c'est-à-dire non autofécondées, ont été fournies par la station du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké en Côte d'Ivoire. Les semences ont été par la suite irradiées au laboratoire de « Genetic and Plant Breeding » de l'AIEA à Seibersdorf en Autriche, puis ramenées en Côte d'Ivoire pour notre expérimentation. Après 5 générations d'autofécondation, les lignées ont été conservées au laboratoire de physiologie végétale dans des caisses en polystyrène à une température comprise entre 28 °C et 30 °C avant semis. Ainsi, les lignées étudiées sont : L04_{D200B}, L46_{D300B}, L72_{D300B}, L103_{D200B}, L104_{D200B} ; L8_{D200R} ; L27_{D200R} ; L36_{D300R} ; L73_{D300R} ; L77_{D300R} ; L80_{D300R} ; L87_{D200R} ; L93_{D200R} ; L94_{D200R} et T0_{D0}



Figure 9 : Semences mères de la variété EV8728 non irradiées T0_{D0}



Figure 10 : Semences des lignées de couleur blanche étudiées

A : **L72D200** : Lignée 72 Dose 300 ; **B** : **L103D200** : Lignée 103 Dose 200 ; **C** : **L104D200** : Lignée 104 Dose 200 ; **D** : **L04D200** : Lignée 04 Dose 200 ;
E : **L46D300** : Lignée 46 Dose 300.

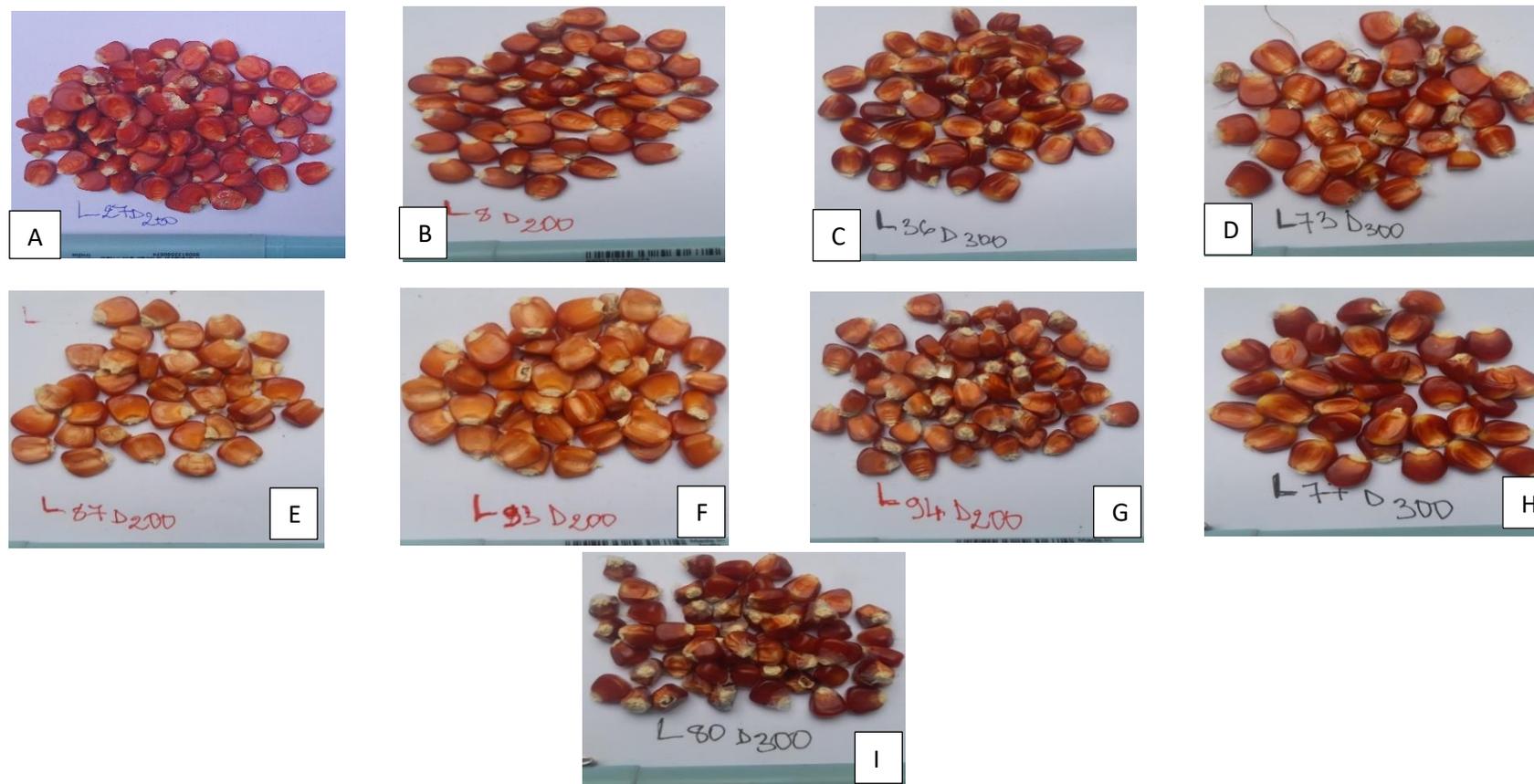


Figure 11 : Semences des lignées de couleur rouge étudiées

A : L27D200 : Lignée 27 Dose 200 ; **B : L08D200** : Lignée 8 Dose 200 ; **C : L36D300** : Lignée 36 Dose 300 ; **D : L73D300** : Lignée 73 Dose 300 ; **E : L87D200** : Lignée 87 Dose 200 ; **F : L93D200** : Lignée 93 Dose 200 ; **G : L94D200** : Lignée 94 Dose 200 ; **H : L77D300** : Lignée 77 Dose 300 ; **I : L80D300** : Lignée 80 Dose 300.

1.1.2- Matériel technique

Le matériel technique était constitué de la daba et la machette qui ont servi au sarclage. Un mètre ruban a été utilisé pour prendre les dimensions de la parcelle. L'identification de celle-ci a nécessité une pancarte. De plus, un pied à coulisse a été nécessaire, pour mesurer le diamètre au collet, pendant qu'un mètre pliant a servi à prendre les mesures de la hauteur des plants, de la largeur et de la longueur des feuilles. Un marqueur permanent a été utilisé, pour le marquage des feuilles. Lors la prise des données post-récoltes, une règle graduée a servi à mesurer la longueur des épis et une balance de précision a été utilisée pour peser les différents épis.

1.2- Méthodes

1.2.1- Mise en place de l'essai

La mise en place de la parcelle a débuté par le défrichage à la daba puis à la machette. Un labour profond à la daba a été effectué afin de décompacter le sol compact. Ensuite, un piquetage a été réalisé dans le but de délimiter la parcelle suivant le dispositif expérimental choisi.

1.2.2- Dispositif expérimental

Une parcelle expérimentale de 156,64 m² (35,6 m × 4,4 m) de superficie a été utilisée pour la conception et la mise en place du dispositif sur le site expérimental de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ (Figure 12). Ainsi, un dispositif en bloc de Fisher totalement randomisé avec trois répétitions et 15 traitements par répétition ont servi à la mise en place de l'expérimentation. La superficie de chaque répétition est de 49,28 m² (11,2 m × 4,4 m) et la distance entre deux répétitions est de 1 m. Chaque répétition comporte 15 lignes distantes de 0,8 m chacune et chaque ligne contient douze poquets distancés de 0,4 m en raison de trois (3) grains par poquets avant le démariage et deux (2) grains par poquet après le démariage. Le semis a été réalisé sur des lignes de semis parallèles sur la parcelle expérimentale suivant un dispositif associé à un système d'arrosage goutte-à-goutte. Dans un bloc, chaque ligne correspond à une lignée spécifique ou un traitement, ce qui a permis d'obtenir un total de 14 lignées formant les différents traitements. Ces lignées ont ensuite été comparées à un témoin relatif, T_{0D0}, représentant les plantes de la variété EV8728 d'origine n'ayant pas été exposées à des radiations.

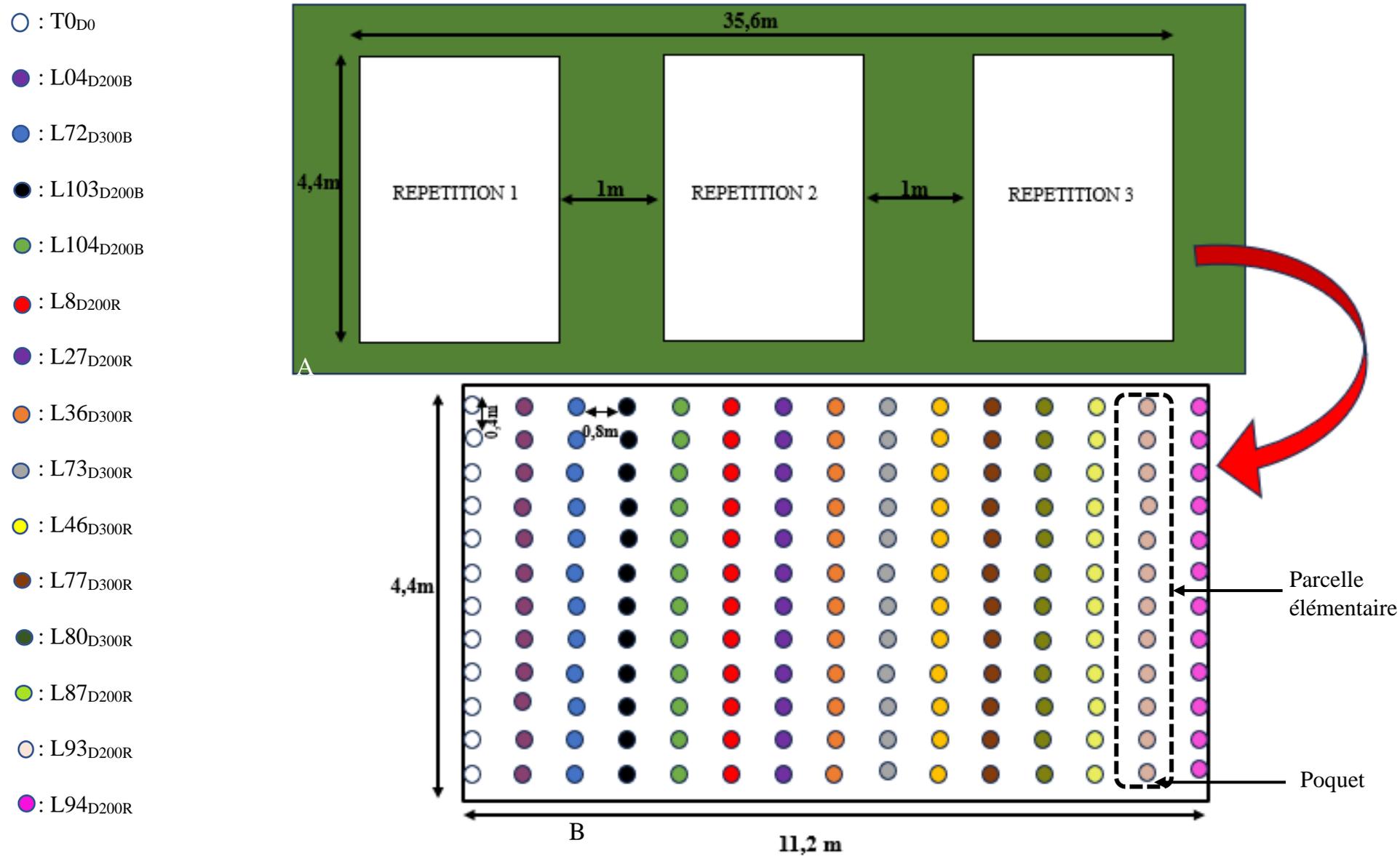


Figure 12 : Dispositif en blocs de Fisher (A) et présentation d'un bloc (B)

1.2.3- Mise en place du système d'irrigation goutte à goutte

Lors de cette expérience, un système d'irrigation basé sur un dispositif goutte-à-goutte, qui utilise des rampes secondaires reliées à une rampe principale, a été mis en place (Figure 13). Cette rampe principale a été connectée à un réservoir central de distribution d'eau d'arrosage d'une capacité de 1 m³. L'activation du système est assurée par des vannes d'eau.



Figure 13 : Installation du système d'irrigation goutte à goutte

1.2.4- Phase de semis

Le semis (Figure 14) a par la suite été réalisé en enfouissant trois (03) grains par poquet. Deux (2) semaines plus tard, un démariage a finalement été fait pour ne laisser que deux (2) plants par poquet.



Figure 12 : Phase de semis

1.2.5- Entretien et amendement de la parcelle

La parcelle et ses environs ont été régulièrement entretenus en gardant la propreté grâce au sarclage manuel effectué deux fois jusqu'à la récolte. Deux semaines après le semis, de l'urée à 6,5 g par poquet a été ajoutée. Ceci a été suivi de l'application de 6,5 g de NPK (15-15-15) par pied deux semaines plus tard.

1.2.6- Autopollinisation

Pour assurer les autofécondations, une pollinisation contrôlée des plantes, de chaque génération en plusieurs étapes, a été suivie. Avant l'apparition des soies, les épis de chaque plante ont été recouverts d'une enveloppe en papier cristal. Le jour précédent la pollinisation, un sac à panicule (sac de pollinisation) a été placé pour collecter le grain de pollen des fleurs mâles. Le lendemain matin, la plante a été légèrement penchée et secouée, pour récupérer le grain de pollen dans le sac à panicule. La protection en papier cristal, entourant les soies de la plante femelle, a été retirée, et les soies ont été pollinisées avec le grain de pollen du sac à panicule. Immédiatement après, les soies et les panicules ont été recouvertes respectivement, avec l'enveloppe en papier cristal et le sac à panicules, et, cela, a été maintenu jusqu'à la récolte. Les pollinisations ont été réalisées de 9 h à 11 h.

À partir de la troisième génération, les semences ont été étiquetées en fonction de la lignée et des couleurs. Ainsi, les lignées de maïs blanc ont reçu les étiquettes suivantes : L04_{D200B}, L72_{D300B}, L103_{D200B}, L104_{D200B}. Pour le maïs rouge, les lignées sont : L8_{D200R} ; L27_{D200R} ; L36_{D300R} ; L46_{D300R} ; L73_{D300R} ; L77_{D300R} ; L80_{D300R} ; L87_{D200R} ; L93_{D200R} ; L94_{D200R}. Cet étiquetage a été utilisé pour la suite de l'expérience dans le champ jusqu'à l'obtention de la 5^e génération.

1.2.7- Paramètres mesurés

La caractérisation agro-morphologique des différents mutants, utilisés au cours de cette étude, a été faite au moyen des paramètres de croissance et de production. Les mesures ont été effectuées sur un effectif de 45 plantes sélectionnées de façon aléatoire dans chaque lignée, soit 15 pieds par répétition.

1.2.7.1- Paramètres de croissance

Dans cette étude, les paramètres de croissance utilisés pour évaluer les caractéristiques morphologiques, sont : le taux de levée, la hauteur des plants, le diamètre au collet, la hauteur d'insertion de l'épi, l'indice de résistance à la verse le nombre de feuilles et les longueurs et

largeurs des feuilles. Ces mesures ont débuté 7 jours après le semis et ont été effectuées à l'aide d'un ruban mètre et d'un pied à coulisse respectivement pour la hauteur et le diamètre au collet.

➤ **Taux de levée**

En effectuant un comptage régulier des plantules émergentes dans chaque poquet à des intervalles définis, le taux de levée a été évalué sur une période de 10 jours pour chaque lignée, à partir du troisième jour suivant le semis. Le calcul a été réalisé en comparant le nombre de graines ayant émergé par ligne avec le nombre total de graines semées (EQ. 1).

$$TL (\%) = \frac{NTPL}{NTG} \times 100 \quad (1)$$

TL : Taux de Levée ;

NTPL : Nombre total de plants levés ;

NTG : Nombre total de grains semés.

➤ **Hauteur de la plante**

La hauteur de la plante (HP), exprimée en centimètre (cm), a été déterminée en mesurant la distance à partir de la base de la tige au collet (à la limite du sol) jusqu'au point d'insertion des épillets, au sommet de la plante.

➤ **Hauteur d'insertion de l'épi**

La hauteur d'insertion de l'épi (HIE) a été déterminée en mesurant la distance entre le collet et le point d'insertion de l'épi sur la tige.

➤ **Diamètre au collet**

Le diamètre au collet (DC) a été mesuré à la base de la tige, dans le dernier entre-nœud de la plante (soit 1 à 2 cm au-dessus du sol). Il a été déterminé à l'aide d'un pied à coulisse.

➤ **Indice de sensibilité à la verse**

La hauteur de la plante et la hauteur d'insertion de l'épi ont permis de déterminer l'indice de sensibilité à la verse (ISV) à l'aide de l'équation 2 (Yonggui & Hing, 2015). Lorsque les valeurs tendent vers 1, alors la plante résiste à la verse.

$$ISV = \frac{HIE}{H} \quad (2)$$

ISV : Indice de sensibilité à la verse ;

HIE : Hauteur d'insertion de l'épi ;

H : Hauteur de la plante.

➤ **Surface foliaire**

La surface foliaire mesurée était spécifique à la feuille supportant l'épi. Après l'émergence de la panicule, la méthode de Lichtenthaler (1987) a été utilisée pour déterminer la longueur (le long de la nervure principale) et la largeur (au niveau de la zone médiane) de la feuille. Ensuite, la surface foliaire (SF) a été calculée à l'aide de l'équation suivante (EQ. 3)

$$SF (cm^2) = LngF \times LagF \times 0,75 \quad (3)$$

SF : Surface Foliaire ;

LngF : Longueur de la Feuille ;

LagF : Largeur de la Feuille ;

0,75 : Indice foliaire du maïs.

➤ **Nombre de feuilles**

Le nombre de feuilles a été obtenu par comptage dès la sortie de la première feuille jusqu'à l'apparition de la panicule de façon hebdomadaire.

1.2.7.2- Paramètres de floraison

Les paramètres de floraison ont été mesurés en comptant les jours entre le semis et leur émission qui est exprimé en jours. Il s'agit entre autres du délai d'apparition des panicules, du délai d'apparition de l'épi, de la floraison mâle (50 % Po), du délai d'apparition de la soie.

1.2.7.3- Paramètres de production

Dans cette étude, les paramètres de production ont été utilisés pour évaluer le rendement des différentes lignées. Il s'agit de la masse de l'épi avec ou sans les spathes, la masse de 100 grains, la longueur et le diamètre des épis, du nombre de grains par épi et du rendement.

➤ **Masses de l'épi avec ou sans spathes et de 100 grains**

Les masses de l'épi, avec ou sans spathes, et de 100 grains, ont été estimées à l'aide d'une balance de précision.

➤ **Longueur et diamètre des épis**

La longueur de la rafle en centimètre (cm), qui ne comprend que les grains, a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, en partant de la base jusqu'au sommet de la rafle. Quant au diamètre de l'épi, excluant la spathe, il a été mesuré en millimètres (mm) à l'aide d'un pied à coulisse, placé au niveau de la partie médiane.

➤ **Nombre de grains par épi**

Le nombre de grain par épi a été d'abord mesuré par comptage sur une rangée. Par la suite, le nombre moyen de grains par épi a été calculé selon la formule 4 :

$$(NGE) = \text{Nombre moyen de grains d'une rangée} \times \text{Nombre de rangées par épi} \quad (4)$$

➤ **Rendement**

Le rendement (t/ha) d'une parcelle est le rapport de la masse de grains (en t) par la surface cultivée (en ha).

$$\text{Rdt (t/ha)} = \frac{\text{Masse totale de la production (t)}}{\text{Surface cultivée (ha)}} \quad (5)$$

1.3- Traitement et analyse statistique des données

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT. L'analyse de variance (ANOVA) à un facteur et un test paramétrique défini selon la loi de Fisher ont été utilisés. L'analyse est réalisée dans les conditions d'une distribution normale d'un caractère quantitatif et d'une égalité de variance. Elle permet de mettre en exergue l'effet ou non d'un facteur sur ce caractère en comparant les moyennes d'au moins deux échantillons, sous l'hypothèse nulle d'égalité de moyennes. Cette analyse a été effectuée sur les paramètres de levée, de croissance, de floraison et de production. Des différences significatives sont observées pour l'ensemble des tests réalisés lorsque la valeur de la probabilité (p) associée aux tests statistiques est inférieure à 0,05. L'existence de corrélation ou de lien entre les paramètres agromorphologiques a été recherchée grâce à une matrice de corrélation de Pearson. En outre, une analyse en composante principale (ACP) a été effectuée sur les paramètres agromorphologiques et les paramètres de production en vue de visualiser les différences entre les échantillons de lignées. Par ailleurs, une classification hiérarchique ascendante (CAH) a été

utilisée en vue de regrouper les différentes lignées en tenant compte de leur similarité. Par ailleurs, un coefficient de variation a été déterminé lorsque besoin pour apprécier les variations de certains paramètres.

2- INITIATION À L'ANDROGENÈSE

Les travaux ont été réalisés dans l'unité de culture *in vitro* du Laboratoire de Biologie et d'Amélioration de la Production Végétale de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ.

2.1- Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé se compose de grains de pollen (Figure 15) provenant de la variété EV8728 non irradiée, obtenue après quatre générations d'autofécondation afin de comparer la technique de sélection à partir de l'irradiation et la technique de l'androgènes à partir du grain de pollen non irradié.



Figure 13 : Grains de pollen fraîchement récoltés

2.2- Méthodes

2.2.1- Préparation, semis et entretien des cultures

L'essai en plein champ a été réalisé sur une parcelle de 18 m² (4 m × 4,5 m), avec un dispositif en trois (3) répétitions sur un bloc à un (1) seul traitement. Chaque répétition se compose de 10 pots pour le semis. Un semis manuel a été réalisé avec les semences de la 4^e génération de la variété de maïs EV8728. Les semences ont été plantées à une profondeur de 3 cm, avec deux grains par pots. Pendant 45 jours, chaque parcelle a reçu 1,5 litre d'eau par arrosage manuel. L'essai a été réalisé sur la parcelle expérimentale de l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ.

2.2.2- Recherche de conditions optimales pour la conservation des grains de pollen

2.2.2.1- Collecte des grains de pollen

À 55 jours après semis (JAS), des panicules composées d'épillets avec des anthères contenant des grains de grain de pollen ont été collectées (Figure 16) quotidiennement, aux heures suivantes : 9 h, 10 h, 11 h, 12 h, 14 h, 15 h, 16 h, 17 h et 18 h, pendant une semaine. Cette collecte visait à déterminer les moments les plus favorables pour la récolte. Le grain de pollen récolté a été immédiatement placé dans du papier Kraft et transporté au laboratoire.

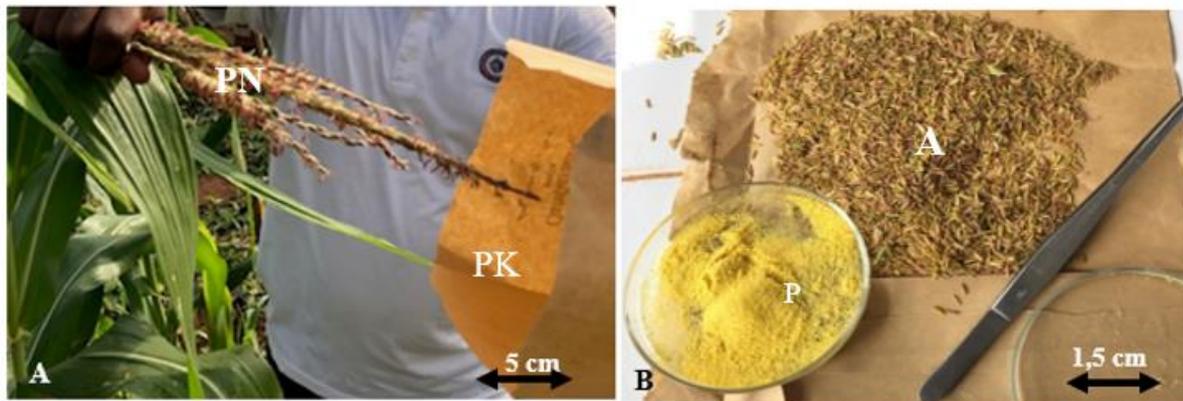


Figure 14 : Collecte des grains de pollen sur les panicules

A : Panicules contenant des grains de pollen ; B : Grain de pollen extrait des panicules

PN : Panicule ; PK : Papier Kraft ; P : Pollen ; A : Anthère

2.2.2.2- Conservation des grains de pollen collectés

Les différents échantillons collectés ont été répartis en deux parties distinctes. La première partie a été testée immédiatement pour plus de précaution afin de constater la viabilité du grain de pollen fraîchement récolté avant d'être conservé. La seconde catégorie a été subdivisée en deux échantillons. Ces échantillons ont été conservés à des températures de 3°C et de -26°C pendant 90 jours.

2.2.2.3- Test de viabilité des grains de pollen de départ et après conservation

La viabilité et la non-inucléation des grains de pollen de la variété EV8728 non irradiée ont été évaluées de manière précise, en utilisant une méthode spécifique décrite par Colas & Mercier (2000). Pour chaque échantillon de grain de pollen non traité (contrôle) et conservé, la technique de coloration a été employée. Une goutte d'acétocarmin à 1 % a été déposée sur une lamelle contenant le grain de grain de pollen. Après 5 min d'incubation, la viabilité du pollen a été évaluée minutieusement en utilisant un microscope optique, avec un grossissement de X400.

Les grains de pollens viables diffèrent du grain de pollen non viable par leur couleur. Pour chaque heure de récolte, un échantillon de 100 grains de pollen de départ et un échantillon conservé ont été soumis à des tests de viabilité, selon le protocole présenté précédemment. Cette procédure a été répétée tous les 30 jours, permettant, ainsi, de suivre l'évolution de la viabilité du pollen pendant 90 jours.

2.2.2.4- Paramètres de mesure

Dans cette étude, le paramètre utilisé, pour évaluer le taux de viabilité, est le nombre de grain de pollen viable. Il a été évalué par comptage pour les grains de pollens de départ (température ambiante) et après conservation à 3 °C et -26 °C, pendant 90 jours. Le nombre de grains de pollen extraits, pour le test à l'acétocarmin, a été compté et le taux de viabilité du grain de pollen de chaque période de collecte a été calculé à l'aide de la formule 6.

$$\text{Taux de viabilité} = \frac{\text{Nombre de grain de pollen viables}}{\text{Nombre total de grain de pollen}} \times 100 \quad (6)$$

2.2.3- Phase d'initiation de l'androgénèse : recherche de conditions optimales de germination *in vitro* des grains de pollen

2.2.3.1- Préparation du milieu de culture

Le milieu de base choisi, pour cette étude, a été le milieu Yu-Pei (YP) (Genovesi & Collins, 1982), auquel ont été apportées des modifications (Tableau V). Ce milieu de base comprend des macroéléments et des microéléments, auxquels ont été ajoutés du saccharose à différentes concentrations, du gelrite à 1,5 g/L. Le pH du milieu a été ajusté à 5. Les milieux de culture ont été stérilisés à l'autoclave (Autester) pendant 30 min à 120 °C, sous une pression de 1 bar. Après stérilisation, les milieux de culture ont été coulés dans les boîtes de pétri sous hotte à flux laminaire de marque ESCO.

2.2.3.2- Préparation et stérilisation du grain de pollen

Les grains de pollens des échantillons de départ et après conservation ont été retirés des anthères et transférés dans un bécher contenant de l'eau de robinet, afin d'éliminer les débris végétaux. Après le lavage, les échantillons ont été filtrés, pour éliminer les impuretés et transféré dans un autre bécher contenant une solution d'hypochlorite de sodium (3,6 % de chlore actif) pendant 5 minutes. Après le traitement à l'hypochlorite de sodium, les grains de pollen désinfectés ont subi trois rinçages à l'eau distillée stérile sous une hotte à flux laminaire.

Tableau V : Composition du milieu YP modifié

Composition du milieu	Milieu de germination YP modifié (mg/L)
Macro-éléments	
KNO ₃	1000
NH ₄ NO ₃	-
CaCl ₂ x 2H ₂ O	-
Ca(NO ₃) ₂	3000
KH ₂ PO ₄	510
MgSO ₄ x 7H ₂ O	2000
(NH ₄) ₂ SO ₄	-
Micro-éléments	
ZnSO ₄ x 7H ₂ O	8,6
KI	0,83
Mn SO ₄ x 7H ₂ O	22,3
H ₃ BO ₃	6,2
Na ₂ MoO ₄ x 2H ₂ O	0,25
CuSO ₄ x 5H ₂ O	0,025
CoCl ₂ x 6H ₂ O	0,025
Autre élément	
Gelrite	1500

2.2.3.3- Mise en culture et détermination des effets de facteurs sur la germination *in vitro* des pollens

Il s'est agi ici de déterminer les différentes conditions optimales, pour la germination des grains de pollen. Au moyen d'une pince stérilisée, les grains de pollen, au nombre de 100, sont semés dans des boîtes de pétri, contenant 20 ml de chaque milieu de culture semi solide préparé. Les boîtes de Petri, contenant les grains de pollen ont été scellées avec du parafilm et incubées à l'obscurité a une température de 25 °C, dans une étuve pendant 10 jours.

➤ Effet du saccharose

L'influence du saccharose sur la germination a été testée. Le milieu de base choisi pour cette étude, a été le milieu Yu-Pei (YP) (Genovesi & Collins, 1982) modifié auquel a été additionné du saccharose à différentes concentrations (0, 5, 10, 15, 20, 25 et 30 %). Le pH a été fixé à 5. Sept (7) différents milieux de cultures ont été évalués. Le meilleur milieu a été utilisé pour la suite des travaux.

➤ Effet du pH

L'influence du pH, sur la germination du grain de pollen a été évalué. Le meilleur milieu de saccharose a été ajusté à différent pH (5 ; 5,5 ; 6 ; 6,5 ; 7 ; 7,5 ; 8 ; 8,5 ± 0,1). A ce niveau huit (8) milieux de culture ont été évalués. Le meilleur milieu a été utilisé, pour la suite des travaux.

➤ Effet de la température

L'influence de la température d'incubation, sur la germination *in vitro* du grain de pollen, a été déterminée, à partir de l'utilisation de plusieurs températures. Les boîtes de Petri, contenant les grains de grain de pollen, ont été scellées avec du parafilm et incubées à l'obscurité dans une étuve pendant 10 jours avec différentes températures (20 ; 25 ; 30 ; 35 ; 40). A ce propos, un (1) milieu de culture, évalué à différentes températures d'incubation, a été testé. La meilleure température identifiée a été utilisée, pour la suite des travaux.

➤ Durée d'incubation

Les boîtes de Petri, contenant les grains de grain de pollen et le milieu additionné de la meilleure concentration de saccharose, ajusté au meilleur pH et incubé à la meilleure température identifiée à l'étuve pendant 10 ; 15 ; 24 ; 30 et 48 h. Un (1) milieu de culture incubé sur différentes périodes, a été testé.

2.2.3.4- Paramètres mesurés

Après chaque expérience, la présence du tube pollinique a été observée à l'aide d'une loupe binoculaire (Zeiss) et d'un microscope optique (Neo-Tech). Le paramètre utilisé, pour évaluer le taux de grain de pollen germé est le nombre d'apparition de tube pollinique apparus. Il a été évalué, par comptage et le taux de germination du grain de pollen pour chaque milieu de culture a été calculé selon la formule 7.

$$\text{Taux de Germination} = \frac{\text{Nombre de grains de pollens germés}}{\text{Nombre total de grains de pollens mis en culture}} \times 100 \quad (7)$$

2.3- Traitement et analyse statistique des données

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT et Python. L'analyse de variance (ANOVA) à un et deux facteurs a été utilisée. Elle est réalisée dans les conditions d'une distribution normale des résidus d'un caractère quantitatif et d'une égalité de variance. Il permet de mettre en exergue l'effet ou non d'un facteur sur ce caractère en comparant les moyennes d'au moins deux échantillons, sous l'hypothèse nulle d'égalité de moyennes. Cette analyse a été effectuée sur la viabilité du grain de pollen à l'aide du logiciel XLSTAT. Le logiciel Python, quant à lui, il a permis de réaliser les diagrammes de comparaison.

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1- CARACTERISTIQUES AGROMORPHOLOGIQUES DE 14 LIGNÉES DE MAÏS OBTENUES APRÈS AUTOFÉCONDATIONS DES GRAINES DE LA VARIÉTÉ EV8728 IRRADIÉE AU RAYONNEMENT GAMMA

Ce chapitre est consacré à l'analyse approfondie des caractères agronomiques des lignées sélectionnées de la 5^e génération, depuis la levée jusqu'à la maturité. Les résultats présentés dans ce chapitre sont structurés en fonction des différentes étapes phénologiques observées (Taux de levée, croissance, floraison et production). Pour ce faire, l'évaluation des caractères agronomiques de 14 lignées de maïs irradiées à 200 et 300 Grays a été menée. Les résultats des analyses descriptives ont révélé une diversité entre les lignées étudiées. De plus, l'analyse en composantes principales et la classification hiérarchique ascendante ont permis de regrouper ces lignées en trois (3) groupes distincts. Les paramètres de floraison ont révélé des cycles tardifs des 14 lignées par rapport à la variété témoin T0D0. En ce qui concerne la production, les rendements plus élevés ont été observés chez les lignées L80D200 et L36D300 par rapport à la lignée témoin.

1.1- Résultats

1.1.1- Caractérisation descriptive des paramètres étudiés

Au niveau des lignées étudiées, la longueur des feuilles (LngF) est le paramètre ayant enregistré le plus faible coefficient de variation CV (< 15 %). Ce paramètre est suivi par le taux de germination (CV = 16,01 %), la hauteur de la plante (CV = 17,16 %), le diamètre au collet (CV = 18,92%) et le nombre de feuilles (CV = 20,68 %). Par ailleurs, l'indice de sensibilité à la verse est le paramètre variant le plus (CV = 48,80 %). En plus de ce paramètre, il y'a la surface foliaire (CV = 30,56 %) et la largeur de la feuille (CV = 25,94 %) (Tableau VI). Par ailleurs, des écarts importants ont été enregistrés entre les valeurs minimales et les valeurs maximales pour tous les caractères sauf la longueur des feuilles.

Tableau VI : Statistiques descriptives des paramètres agromorphologiques étudiés au niveau des lignées de maïs issues de la 5^e génération

Variables	Nombre d'Observations	Valeur Minimale	Valeur Maximale	Moyenne	Ecart-type	CV (%)
TG (%)	161	21,000	100,000	80,850	12,950	16,01
HP (cm)	1327	18,200	292,000	156,449	26,860	17,16
HI (cm)	1327	11,000	203,000	76,741	21,490	28,00
ISV	1327	0,054	4,451	0,500	0,244	48,80
DC (mm)	1327	8,510	29,620	17,752	3,363	18,32
NF	1327	15,000	120,000	20,083	4,136	20,68
LngF (cm)	1327	19,000	108,500	82,024	8,605	10,49
LagF (cm)	1327	4,000	69,000	7,717	2,002	25,94
SF (cm²)	1327	71,250	4502,250	477,508	145,953	30,56

TG : Taux de germination ; **HP** : Hauteur de la plante ; **HI** : Hauteur d'insertion de l'épi ; **ISV** : Indice de sensibilité à la verse ; **DC** : Diamètre au collet ; **NF** : Nombre de feuilles ; **SF** : Surface foliaire de la Plante ; **LngF** : Longueur des Feuilles ; **LagF** : Largeur des feuilles.

1.1.2- Comparaison des paramètres de levées et de croissance des lignées étudiées

Les résultats de la culture des différentes lignées sur le site expérimental de l'Université sont consignés dans le tableau VII. Les résultats de l'analyse ont montré que les caractères caulogéniques relatifs de croissance et de développement des lignées étudiées ont présenté une différence très hautement significative ($p < 0,001$). Des différences sont observées entre les valeurs moyennes des variables quantitatives des lignées pour les différents caractères étudiés comme la hauteur de la plante (HP), la hauteur d'insertion de l'épi (HI), l'indice de sensibilité à la verse (ISV) et le diamètre au collet (DC).

➤ Taux de levée

Le taux de levée a varié de 53,1 à 95,8 % au niveau des lignées. Les taux les plus élevés ont été obtenus par les plantes de la lignée L80_{D300} (95,8 %) et ceux les plus faibles ont été obtenus par les plantes de la lignée L04_{D200} (53,1 %). Ainsi, les lignées L08_{D200} ; L27_{D200} ; L36

D300 ; L46_{D300} ; L72_{D300} ; L73_{D300} ; L77_{D300} ; L80_{D300} ; L87_{D200} ; L93_{D200} ; L94_{D200} ; L103_{D200} et L104_{D200} ont eu un taux de levée similaire au témoin.

➤ **Hauteur de la plante**

La hauteur a varié de 124,8 à 185,2 cm. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec les plantes de la lignée L08_{D200} (185,2 cm) et celles les plus faibles ont été obtenues avec les plantes de la lignée L27_{D200} (124,8 cm). Les lignées L08_{D200} ; L80_{D300} ; L87_{D200} ; L94_{D200} ont eu des hauteurs plus élevées que le témoin T0_{D0}. La variation moyenne de la hauteur entre les lignées étudiées a présenté une très forte significativité ($p < 0,0001$).

➤ **Hauteur d'insertion de l'épi**

La hauteur d'insertion de l'épi a oscillé entre 57,1 cm à 117,7 cm. Les valeurs, les plus élevées ont été enregistrées avec les plantes de la lignée L08_{D200} (117,7 cm) et celles les plus faibles ont été obtenues avec les plantes de la lignée L27_{D200} (57,1 cm) et L46_{D300} (62,7 cm). Les lignées L08_{D200} ; L04_{D200} ont eu des hauteurs plus élevées que le témoin T0_{D0}. Cependant, les lignées L36_{D300} ; L73_{D300} ; L77_{D300} ; L80_{D300} ; L87_{D200} ; L93_{D200} ; L94_{D200} sont du même ordre que le témoin T0_{D0}.

➤ **Indice de sensibilité à la verse**

Concernant l'indice de la sensibilité à la verse (ISV), il a varié de 0,4 à 0,7. Les plantes qui ont enregistrées les plus petits indices sont celles des lignées L94_{D200} et L104_{D200} (0,4) pendant que celle ayant obtenu le plus grand indice est la lignée L77_{D300} (0,7). Les lignées L77_{D300} ; L04_{D200} et L08_{D200} ont un indice supérieur à T0_{D0} (0,5). Dans cette étude, plus l'indice tend vers 1, plus le plant est sensible à la verse. La lignée L104_{D200} est moins sensible à la verse que le témoin. L'analyse statistique de l'indice de sensibilité à la verse a révélé une différence hautement significative ($p < 0,0001$) entre les données obtenues.

➤ **Diamètre au collet**

Le diamètre au collet a oscillé entre 14,4 et 21,1 mm. Les valeurs, les plus élevées, ont été observées avec les plantes de la lignée L04_{D200} (21,1 mm) et la lignée L36_{D300} (20,7 mm). Celles ayant enregistré les plus faibles diamètres sont les lignées L103_{D200} (14,4 mm) et L104_{D200} (14,6 mm). Les valeurs les plus élevées par rapport au témoin T0_{D0} (18,1 mm) sont issues des lignées L04_{D200} et L36_{D300}.

Tableau VII: Paramètres de levée et de croissance des lignées de maïs EV8728 issues de la 5^e génération

Variabes					
Lignée	TL (%)	HP (cm)	HIE (cm)	ISV	DC (cm)
T0D0	78,6 ± 21,3 ^{ab}	154,2 ± 14,3 ^{cde}	72,9 ± 14,4 ^{cde}	0,5 ± 0,1 ^b	18,1 ± 3 ^{bcd}
L04 D200B	53,1 ± 10,6 ^c	148,7 ± 22,9 ^{ef}	84,9 ± 8 ^b	0,6 ± 0,1 ^a	21,1 ± 3,7 ^a
L08 D200R	81,9 ± 8,9 ^{abc}	185,2 ± 13,3 ^{2a}	117,7 ± 15,8 ^a	0,6 ± 0,1 ^a	18 ± 3,2 ^{bcd}
L27 D200R	66,7 ± 3,6 ^{bc}	124,8 ± 13,1 ^f	57,1 ± 10,6 ^f	0,5 ± 0,1 ^b	16,9 ± 2,3 ^{de}
L36 D300R	86,1 ± 4,1 ^b	169,9 ± 18 ^{abcd}	82,3 ± 23,7 ^{bcd}	0,5 ± 0,1 ^b	20,7 ± 3 ^a
L46 D300R	75 ± 11,1 ^{abc}	133,1 ± 15,3 ^{fg}	62,7 ± 15 ^{ef}	0,5 ± 0,1 ^b	15,2 ± 3 ^e
L72 D300B	86,5 ± 10,1 ^b	152,2 ± 18,3 ^e	71,4 ± 15,6 ^{de}	0,5 ± 0,1 ^b	17,1 ± 3,1 ^{cde}
L73 D300R	93,1 ± 5,4 ^a	170,9 ± 12,2 ^{abc}	84,3 ± 8,9 ^{bcd}	0,5 ± 0,1 ^b	17,7 ± 2,1 ^{bcd}
L77 D300R	88,9 ± 5,4 ^b	158,9 ± 49,4 ^{de}	84,3 ± 29,2 ^{bcd}	0,7 ± 0,8 ^a	16,7 ± 1,8 ^{de}
L80 D300R	95,8 ± 4,2 ^a	172,5 ± 14,7 ^{2ab}	84,6 ± 15 ^{bcd}	0,5 ± 0,1 ^b	19,6 ± 2,2 ^{ab}
L87 D200R	80,6 ± 10,8 ^{abc}	172,2 ± 12,6 ^{6ab}	77,7 ± 9,5 ^{bcde}	0,5 ± 0,1 ^c	17,9 ± 2,2 ^{bcd}
L93 D200R	84,7 ± 8,6 ^b	159,9 ± 17,5 ^{4bcde}	72,6 ± 17,9 ^c	0,5 ± 0,1 ^b	18,9 ± 2,9 ^{abc}
L94 D200R	85,4 ± 10,3 ^b	174,2 ± 18 ^{ab}	71,5 ± 11,6 ^{de}	0,4 ± 0,1 ^c	19,3 ± 2,8 ^{ab}
L103 D200B	82,1 ± 3,8 ^{abc}	135,1 ± 16,9 ^{fg}	65,1 ± 17,8 ^{bc}	0,5 ± 0,1 ^b	14,4 ± 2,8 ^f
L104 D200B	74,1 ± 1,9 ^{abc}	129,2 ± 10,9 ^g	58,5 ± 13,5 ^d	0,4 ± 0,1 ^c	14,6 ± 2,9 ^f
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P = Probabilité approximative des Tests

Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. **HP** : Hauteur de la plante ; **HIE** : Hauteur d'insertion de l'épi ; **ISV** : Indice de sensibilité à la verse ; **DC** : Diamètre au collet ; **TL** : Taux de levée.

1.1.3- Comparaison des paramètres phylogéniques des lignées étudiées

Les résultats de la culture des différentes lignées, sur le site expérimental de l'Université, sont consignés dans le tableau VIII. Les caractères phylogéniques relatifs de croissance et de développement des lignées étudiées, ont présenté une différence très hautement significative ($p < 0,001$). Des différences ont été observées entre les valeurs moyennes des variables quantitatives des lignées pour les différents caractères étudiés tels que le Nombre de feuilles (NF), les Surfaces foliaires (SF), les Longueurs des feuilles (LngF), les Largeurs des feuilles (LagF).

➤ Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles le plus élevé a été obtenu avec les plantes issues des lignées L04_{D200} (21,7) et le plus petit nombre de feuilles avec la lignée L27_{D200} (17,8). En outre, les lignées L04_{D200} ; L08_{D200} ; L72_{D300} ; L73_{D300} ; L80_{D300} ; L87_{D200} et L104_{D200} se sont révélées avec des nombres de feuilles statistiquement identiques au témoin, contrairement aux lignées L27_{D200} ; L36_{D300} ; L77_{D300} ; L93_{D200} ; L103_{D200}.

➤ Surface foliaire

Les résultats relatifs à la variation de la surface photosynthétique montrent des valeurs comprises entre 417,9 et 583,4 cm². Les lignées L36_{D300} et L80_{D300} ont obtenu les surfaces foliaires les plus élevées (583,4 et 560,7 cm²) pendant que les plus petites surfaces ont été enregistrées par les plantes des lignées L46_{D300} ; L103_{D200} et L104_{D200} (avec respectivement 418,9 ; 421,4 et 417,9 cm²). Ainsi, les lignées L36_{D300} et L80_{D300} et L04_{D200} ont enregistré des surfaces supérieures au témoin. Les lignées ayant des surfaces foliaire similaires au témoin sont les lignées L46_{D300} ; L104_{D200} ; L87_{D200} ; L103_{D200} ; L08_{D200} ; L27_{D200} ; L72_{D300} ; L73_{D300} ; L77_{D300} ; L93_{D200} ; L94_{D200}. L'analyse statistique de la surface foliaire a révélé une différence hautement significative ($p < 0,0001$) entre les données obtenues.

➤ Longueur des feuilles

La longueur de la feuille (LngF) a varié de 74 cm à 86,8 cm. La longueur de la feuille la plus élevée a été obtenue avec les plantes issues de la lignée L36_{D300}, (86,8 cm) tandis que la longueur des feuilles issues de la lignée L46_{D300} avec 74 cm a été la plus faible. De plus, les lignées L04_{D200} ; L08_{D200} ; L27_{D200} ; L36_{D300} ; L72_{D300} ; L73_{D300} ; L77_{D300} ; L80_{D300} ; L86_{D300} ; L87_{D200} ; L93_{D200} ; L94_{D200} ; L103_{D200} ; L104_{D400} se sont révélées similaires au témoin T0_{D0}. La lignée L46_{D300} quant à elle, s'est révélée plus petite que le témoin. L'analyse statistique de la

longueur des feuilles a donc révélé une différence hautement significative ($p < 0,0001$) entre les données obtenues.

➤ **Largeurs des feuilles**

La largeur des feuilles (lagF) a varié de 6,7 à 8,9 cm. La valeur la plus élevée a été obtenue avec les plantes issues de la lignée L36_{D300}, avec 8,9 cm ; pendant que celle la plus faible est issues de la lignée L103_{D200} avec 6,7 cm. Ainsi, les lignées L36_{D300} ; L80_{D300} ont eu des feuilles plus larges que le témoin T0_{D0}. Les lignées L46_{D300} ; L73_{D300} et L87_{D300} sont identiques au témoin.

Tableau VIII: Quelques paramètres phylogéniques des lignées de maïs EV8728 issues de la 5^e génération

Variables				
Lignée	NF	LngF (cm)	LagF (cm)	SF (cm²)
T0D0	20,1 ± 1,3 ^{abc}	83,2 ± 6 ^{abcd}	7,3 ± 0,9 ^{cdef}	458,1 ± 71,8 ^{cdef}
L04 D200B	21,7 ± 1,4 ^a	85,2 ± 9 ^{ab}	8,1 ± 1 ^{abc}	518,6 ± 105,4 ^b
L08 D200R	19,9 ± 1 ^{abc}	78,9 ± 6,6 ^{bcde}	8,1 ± 0,8 ^{abc}	480 ± 72,9 ^{bcd}
L27 D200R	17,8 ± 0,9 ^{de}	78,3 ± 8,5 ^{cde}	8,4 ± 6,5 ^{abcd}	497,6 ± 435 ^{def}
L36 D300R	19,7 ± 1,2 ^{bcd}	86,8 ± 7,4 ^a	8,9 ± 1,1 ^a	583,4 ± 93,8 ^a
L46 D300R	20,6 ± 1,3 ^{abc}	74 ± 7 ^e	7,5 ± 0,7 ^{cdef}	418,9 ± 67,3 ^f
L72 D300B	20,4 ± 1 ^{abc}	80,9 ± 7,7 ^{abcd}	7,9 ± 0,8 ^{bcde}	480,4 ± 85,7 ^{bcd}
L73 D300R	21,3 ± 15 ^{abc}	86,4 ± 6,6 ^a	7,4 ± 0,9 ^{cdef}	486 ± 77,1 ^{bc}
L77 D300R	19,7 ± 0,5 ^{bc}	84,8 ± 6,4 ^{ab}	7,8 ± 0,8 ^{bcde}	495,4 ± 59,1 ^{bc}
L80 D300R	20,8 ± 1 ^{abc}	86,6 ± 7,5 ^a	8,6 ± 0,79 ^{ab}	560,7 ± 84,2 ^a
L87 D200R	20,2 ± 1 ^{abc}	77,4 ± 7,2 ^{de}	7,5 ± 0,8 ^{cdef}	436,5 ± 68,9 ^{ef}
L93 D200R	19,6 ± 1 ^{bcd}	81,9 ± 8,7 ^{abcd}	7,2 ± 1,1 ^{def}	445,4 ± 87,9 ^{def}
L94 D200R	19,4 ± 1,1 ^{bcd}	83,3 ± 10,3 ^{abc}	7,2 ± 0,9 ^{def}	452,5 ± 93,9 ^{cdef}
L103 D200B	19,7 ± 0,7 ^{cd}	84,1 ± 6,9 ^{ab}	6,7 ± 0,6 ^f	421,4 ± 59,3 ^f
L104 D200B	21,3 ± 1,2 ^{ab}	77,5 ± 7,9 ^{de}	7,1 ± 0,9 ^{def}	417,9 ± 89,2 ^f
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P : Probabilité approximative des Tests

Dans une colonne, les moyennes suivies de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. **NF** : Nombre de feuille ; **SF** : Surface foliaire de la Plante ; **LngF** : Longueur des Feuilles ; **LagF** : Largeur des feuilles

1.1.4- Structuration de la diversité des lignées étudiées

➤ Corrélation entre les caractères agromorphologiques

L'analyse de la matrice (Tableau IX) a révélé des corrélations significatives ($\geq 0,50$) entre certains caractères. Ainsi, des corrélations positives significatives ont été établies. La hauteur de la plante a présenté une corrélation significativement positive, avec la hauteur d'insertion de l'épi ($r = 0,615$). La longueur et la largeur de la feuille ont montré une corrélation significative avec la surface foliaire dont les valeurs sont respectivement 0,509 et 0,947. La corrélation positive la plus significative existe entre SF et LagF.

Tableau IX : Matrice de corrélation (Pearson) entre les variables quantitatives caractérisant les lignées de maïs

Variables	HP	HIE	ISV	DC	NF	LngF	LagF	SF
HP								
HIE	0,615							
ISV	-0,238	0,361						
DC	0,414	0,383	0,121					
NF	0,061	0,079	0,024	0,065				
LngF	0,147	0,093	0,030	0,204	-0,012			
LagF	0,100	0,141	0,045	0,157	-0,009	0,214		
SF	0,134	0,151	0,049	0,205	-0,011	0,509	0,947	

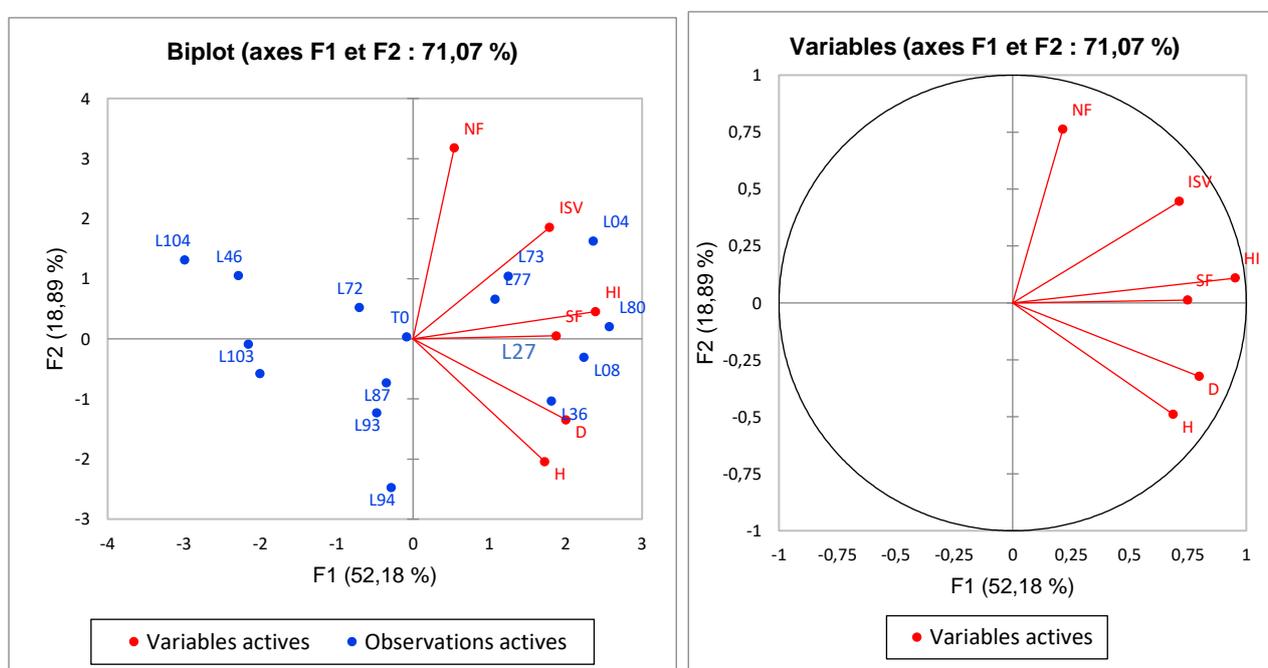
Les chiffres en gras montrent l'existence d'une corrélation significative positive entre les variables concernées. **NF** : Nombre de feuilles ; **SF** : Surface foliaire de la plante ; **LngF** : Longueur des feuilles ; **LagF** : Largeur des feuilles ; **HP** : Hauteur de la plante ; **HIE** : Hauteur d'insertion de l'épi ; **ISV** : Indice de sensibilité à la verse ; **DC** : Diamètre au collet.

➤ Visualisation des différences entre les lignées de maïs par ACP sur les paramètres de croissances

La projection des variables dans le plan factoriel a révélé que celles-ci sont bien représentées (Figure 17). En effet, une variable possède une qualité représentative, si elle est positionnée sur le cercle ou proche du cercle. Par ailleurs, le niveau des liaisons entre les

différentes variables est représenté par les angles géométriques entre les flèches. La projection des variables dans le plan factoriel a montré que toutes les variables ont participé à la discrimination des caractères étudiés. La figure 17 présente la projection des caractères agromorphologiques des lignées sur le plan factoriel formé par les axes 1 et 2 qui, ensemble, expliquent 71,07 % de la variabilité. De plus, l'examen du cercle de corrélation a révélé qu'il existe deux (2) caractères associés à l'axe 1 : la surface foliaire (SF) et la Hauteur d'Insertion de l'épi, tandis que le nombre de feuille (NF) est associé à l'axe 2.

L'observation de la figure 17 révèle l'existence de différence entre les lignées étudiées au point où trois (3) groupes d'individus distincts peuvent être identifiés. Le groupe 1 (G1) est composé des lignées L27 ; L46 ; L87 ; L93 ; L94 ; L104 ; L103 ainsi que du témoin T0. Le groupe 2 (G2) regroupe les lignées L36 et L08, tandis que le groupe 3 (G3) comprend L80, L04, L72, L73 et L77. Ainsi, le groupe 1 est caractérisé par des lignées avec des plantes à faible indice de sensibilité à la verse, petite surface foliaire, un petit nombre de feuille, une petite hauteur d'insertion, de petits diamètres au collet et de petites tailles. Le groupe 2 renferme des plantes avec un grand diamètre au collet, une grande hauteur et une grande surface foliaire. Le groupe 3 est singularisé par des lignées avec des plantes à grandes dimensions telles que, de grands nombres de feuilles, une résistance à la verse et de grande hauteur d'insertion des épis.



NF : Nombre de feuilles ; **SF** : Surface foliaire de la plante ; **HP** : Hauteur de la plante ; **HIE** : Hauteur d'insertion de l'épi ; **ISV** : Indice de sensibilité à la verse ; **DC** : Diamètre au collet.

Figure 15: Projection des caractères agromorphologique des lignées sur le plan factoriel F1 x F2

➤ **Regroupement des individus par classification hiérarchique ascendante**

En prenant en considération les similitudes concernant les paramètres de production entre les différentes lignées étudiées, une hiérarchisation a été effectuée. Le dendrogramme obtenu est présenté sur la figure 18. En examinant la figure, il est possible de repérer trois (3) groupes d'individus statistiquement différents à partir d'un niveau de troncature équivalent à 5000 unités arbitraires. Le groupe 1 (G1) comprend L46 ; L93 ; L87 ; L94 ; L103 ; L104 ainsi que le témoin T0. Le groupe 2 (G2) regroupe les lignées L36 et L80. Le groupe 3 (G3) est composé des lignées L04 ; L08 ; L27 ; L73 ; L77. Cette typologie en trois classes prend en compte 85 % de la variance.

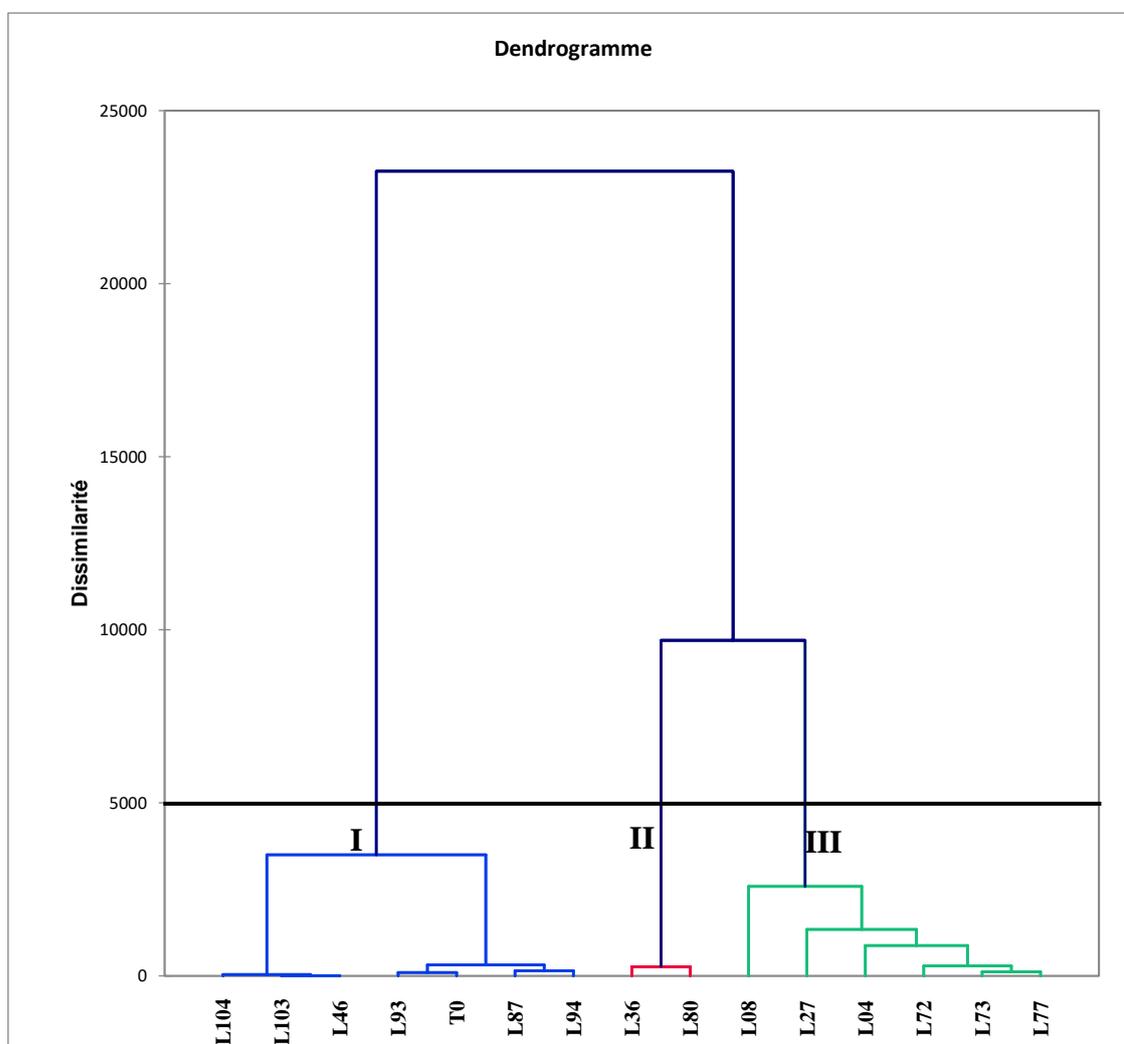


Figure 16: Classification des lignées de maïs en fonction des paramètres de croissance

1.1.5- Statistiques descriptives des paramètres de floraison des lignées de maïs issues de la 5^e génération

Il ressort de l'analyse que le coefficient de variation a été faible (<15 %) pour tous les paramètres de floraison (**Tableau X**).

Tableau X : Statistiques descriptives des variables de floraison des lignées de maïs issues de la 5^e génération

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-	
					type	CV (%)
Ap. Pa	1317	42,000	68,000	55,276	4,630	8,37
50 % Po	1317	52,000	70,000	61,662	3,739	6,06
Ap. Epi	1317	38,000	68,000	52,854	5,674	10,73
Ap. So	1317	48,000	69,000	58,698	4,042	6,88

Ap.Pa : Délai d'Apparition de panicule ; **Ap.Epi** : Délai d'Apparition d'épi ; **50% Po** : Floraison Mâle (50 % pollen) ; **Ap.So** : Délai d'Apparition de soie.

1.1.6- Comparaison des paramètres de floraison entre les lignées de maïs étudiées

Le tableau XI présente les valeurs des paramètres de floraison des plantes de 15 lignées de maïs blanc et rouge issues de la 5^e génération. L'analyse de ce tableau a révélé des différences hautement significatives ($p < 0,001$), entre les lignées, quel que soit le paramètre.

➤ Délai d'apparition des panicules

Le délai d'apparition des panicules est représenté par une variation de 49,7 à 58,5 jours. Les délais les plus longs ont été obtenus avec les plantes de la lignée L77_{D300} (58,5 jours) et celui le plus court a été enregistré avec les plantes de la lignée du témoin, L08_{D200} (49,7 jours) et L27_{D200R} (50,1 jours). Ainsi, seules les lignées L08_{D200R} et L27_{D200R} ont eu un délai statistiquement identique à celui du témoin T0_{D0} (50,3). Ces lignées ont été plus précoces que les autres.

➤ Délai d'Apparition de l'épi

La comparaison des lignées en fonction du délai d'apparition de l'épi a montré une forte variabilité avec des délais oscillant de 44,4 jours à 57,4 jours. Les plantes de la lignée L77_{D300} (57,4 jours) ont présenté le plus long délai alors qu'avec celles du témoin T0_{D0} (44,4 jours), les

épis sont apparus plus précocement par rapport aux autres lignées. L'analyse statistique effectuée a montré une différence significative au niveau du délai d'apparition de l'épi ($P < 0,0001$)

➤ **Floraison Mâle (50% Po)**

La comparaison des lignées en fonction du délai de floraison mâle montre une forte variabilité avec des valeurs allant de 57,8 à 64,5 jours. Les Témoins (57,8 jours) ont été plus précoces dans l'ensemble.

➤ **Délai d'apparition de la soie (DAp.Soie)**

Le délai d'apparition de la soie a varié de 54,2 jours à 61,8 jours. Les délais les plus courts ont été obtenus chez le témoin (58,5 jours) et L46_{D300} (58,8 jours). Ceux les plus longs ont été enregistrés avec les plantes des lignées L93_{D200} et L94_{D200} (61,3 et 61,8 jours). Les Témoins et L46_{D300} ont montré une précocité plus marquée que toutes les autres lignées, avec une durée moyenne de 54,2 jours.

Tableau XI : Valeurs moyennes des paramètres de floraison étudiés en fonction des différentes lignées de maïs blanc et rouge.

Variables				
Lignée	D_{Ap.pa} (jours)	50%.po (jours)	D_{Ap.Epi} (jours)	D_{Ap.Sois} (jours)
T0_{D0}	50,3 ± 1,9 ^g	57,8 ± 1,9 ^g	44,4 ± 2,6 ^g	54,2 ± 2,7 ^f
L04_{D200B}	56,6 ± 3,3 ^{cde}	64,5 ± 1,8 ^a	50,5 ± 3,1 ^{de}	58,3 ± 2,3 ^{cde}
L08_{D200R}	49,7 ± 3,3 ^g	58,3 ± 1,9 ^{fg}	51,6 ± 2,3 ^d	57 ± 1,7 ^e
L27_{D200R}	50,1 ± 3,6 ^g	59,7 ± 3,6 ^{ef}	49,5 ± 4,4 ^e	57,7 ± 3,1 ^{de}
L36_{D300R}	53,9 ± 3,6 ^f	59,3 ± 3,4 ^{efh}	54,6 ± 4,5 ^c	59,2 ± 3,7 ^{cde}
L46_{D300R}	53,7 ± 4,1 ^f	60,6 ± 3,6 ^{de}	47,5 ± 5,3 ^f	54,8 ± 3,9 ^f
L72_{D300B}	57,1 ± 4,4 ^{bcd}	64,1 ± 3,4 ^{3a}	50,8 ± 4,7 ^{5de}	58,7 ± 3,7 ^{cd}
L73_{D300R}	55,6 ± 2,8 ^e	61,4 ± 2,5 ^{cd}	55,2 ± 3,9 ^c	58,9 ± 2,6 ^{cd}
L77_{D300R}	58,5 ± 3,5 ^a	63,9 ± 2,2 ^a	57,4 ± 4,2 ^a	60,6 ± 3,4 ^{ab}
L80_{D300R}	56,3 ± 2,7 ^{cd}	60,6 ± 2,9 ^{fg}	55,3 ± 2,6 ^{bc}	58,2 ± 2,5 ^{cde}
L87_{D200R}	57,5 ± 3,4 ^{abc}	63,1 ± 2,5 ^{ab}	56,8 ± 4,4 ^{ab}	59,4 ± 3 ^{bc}
L93_{D200R}	56,6 ± 3,6 ^{cde}	62 ± 3,3 ^{bcd}	55,4 ± 3,5 ^{bc}	61,3 ± 3,9 ^a
L94_{D200R}	55,9 ± 3,5 ^e	61,8 ± 3,2 ^{bcd}	56 ± 4,2 ^c	61,8 ± 3,7 ^a
L103_{D200B}	56,4 ± 5,7 ^{cde}	63,5 ± 5,4 ^{ab}	52,2 ± 7,8 ^{5ef}	59,5 ± 6 ^{bc}
L104_{D200B}	58 ± 5,5 ^{ab}	63 ± 3,7 ^{abc}	51,5 ± 6,3 ^{8d}	58,8 ± 4,5 ^{cd}
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P = Probabilité associée. Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de 5 %. **D_{Ap.Pa}** : Délai d'Apparition de panicule ; **D_{Ap.Epi}** : Délai d'Apparition d'épi ; **50 % Po** : Floraison Mâle (50 % pollen) ; **D_{Ap.Sois}** : Délai d'Apparition de soie.

1.1.7- Paramètres de production des lignées de maïs issues de la 5^e génération

1.1.7.1- Statistiques descriptives des paramètres de production

Le seul paramètre variant très peu est le Diamètre de l'épi avec un coefficient de variation (CV) <15 %. Il est suivi de la longueur de l'épi (CV =18,63 %). Le rendement a enregistré le CV plus élevé (40,19 %). Le CV des paramètres tels que M100g, MEASP, MESSP et NGPE a oscillé entre 23,29 et 34,38 % (TableauXII).

Tableau XII: Analyse statistique descriptive des paramètres de production des différentes lignées de maïs étudiées.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart- type	CV (%)
MEASP (g)	593	29,200	190,100	87,743	25,801	29,40
MESSP (g)	593	13,600	148,800	71,884	23,720	32,99
M100G (g)	593	13,650	83,500	24,893	5,798	23,29
LngE (cm)	593	7,000	20,000	11,724	2,185	18,63
DE (mm)	593	22,880	49,770	37,925	4,367	11,51
NGPE	593	16,000	533,333	263,010	90,431	34,38
RE(t/ha)	593	0,114	6,089	2,040	0,820	40,19

DE : Diamètre de l'épi ; **LngE** : Longueur de l'épi ; **M100G** : Masse de 100 graines ; **NGPE** : Nombre de grains par épi ; **MEASP** : Masse de l'épi avec les spathes ; **MESSP** : Masse de l'épi sans spathes ; **RE** : Rendement.

1.1.7.2- Comparaison des paramètres de production entre différentes lignées de maïs étudiées

Les valeurs moyennes des paramètres de production étudiés en fonction des différentes lignées de maïs blanc sont présentées dans le Tableau XIII. Dans ce tableau, les différences ont été très hautement significatives ($p < 0,001$) sur l'ensemble des paramètres de production.

➤ Masse de l'épi avec les spathes

Une variation allant de 40,8 g à 134 g a été observée pour la masse de l'épi (Tableau XIII). Les masses les plus élevées ont été obtenues avec les plantes de la lignée L36_{D300} (134 g). Cependant, les plus faibles masses ont été enregistrées avec les plantes de la lignée L27_{D200} (40,8 g). Toutes les masses des lignées se sont révélées plus petites par rapport au témoin T0_{D0} (104g) sauf les lignées L36_{D300} ; L94_{D200} ; L08_{D200} ; L77_{D200} ; L87_{D200}. L'analyse statistique effectuée a montré une forte différence interlignée au niveau de la masse des épis avec les spathes ($p < 0,0001$).

➤ **Masse de l'épi sans les spathes**

La masse de l'épi sans les spathes a varié de 29,1 g à 113,7 g. Les valeurs les plus élevées ont été induites par les plantes de L36_{D300} (113,7 g) et celles les plus faibles ont été enregistrées avec les plantes de la lignée L27_{D200} (29,1 g). Toutes les masses des lignées se sont révélées plus petites par rapport au témoin T0_{D0} (87,6 g) sauf les lignées L36_{D300} ; L73_{D300} ; L94_{D200} ; L08_{D200} ; L77_{D200} ; L87_{D200}. L'analyse statistique effectuée a révélé une différence hautement significative au niveau de la masse des épis sans les spathes issues des lignées étudiées ($P < 0,0001$).

➤ **La masse de 100 graines**

La masse de 100 graines a varié de 18,2 g à 32,5 g. Les masses les plus élevées ont été données par les plantes des lignées L80_{D300} ; L87_{D200} et L94_{D200} par rapport au témoin pendant que celles les plus faibles ont été enregistrées par les plantes de la lignée L08_{D200} (18,2 g). Le poids de 100 graines a varié significativement entre les lignées de maïs ($P < 0,0001$).

➤ **Longueur des épis**

La longueur des épis a oscillé entre 9,1 cm à 15,1 cm, avec les valeurs les plus élevées observées chez les plantes du témoin T0_{D0} (15,1 cm). Les valeurs les plus basses ont été enregistrées chez les plantes de la lignée L46 (9,1 cm). Toutes les lignées ont montré des longueurs d'épis significativement inférieures à celles du témoin.

➤ **Diamètre de l'épi**

Le diamètre des épis a varié de 30,1 mm à 45,6 mm. Les valeurs les plus élevées ont été données par les plantes de la lignée L36_{D300} (45,6 mm) et celles les plus faibles ont été enregistrées par les plantes de la lignée L27_{D200} (30,1 mm).

➤ **Nombre de graines par épi**

Le nombre de graines par épi a varié de 165,1 à 473,9. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues par les plantes de la lignée L36_{D300} (473,9), tandis que les valeurs les plus basses ont été enregistrées chez les plantes de la lignée L27_{D200} (165,1). À l'exception de la lignée L36_{D300} (473,9), toutes les autres lignées ont présenté un nombre de graines par épi significativement inférieur à celui du témoin.

➤ **Le rendement**

Le rendement a varié considérablement entre les lignées, allant de 1,2 t/ha pour la lignée L27_{D200} à 3,4 t/ha pour la lignée L36_{D300}. La lignée L36_{D300} (3,4 t/ha) a présenté un rendement plus élevé que le témoin T0_{D0}. À l'exception de la lignée L36_{D300} (3,4 t/ha) et L80_{D300} toutes les autres lignées ont affiché un rendement significativement inférieur à celui du témoin T0_{D0} (3,1 t/ha).

Tableau XIII : Valeurs moyennes des paramètres de production des différentes lignées de maïs

Variables							
Lignées	MEASP (g)	MESSP (g)	M100G (g)	LngE (cm)	DE (mm)	NGE	RE (t/ ha)
T0D0	104,0 ± 36,6 ^b	87,6 ± 31,1 ^b	27,7 ± 2 ^c	15,1 ± 1,9 ^a	38,2 ± 4 ^{def}	353,2 ± 113,4 ^b	3,1 ± 1 ^b
L04D200	89,0 ± 13,1 ^{cde}	61,3 ± 7,3 ^{fg}	26,1 ± 1,9 ^d	9,6 ± 1,1 ^j	42,3 ± 1,9 ^b	210,7 ± 30,1 ^{gh}	1,7 ± 0,3 ^{de}
L08D200	94,8 ± 15,9 ^{bc}	79,2 ± 14,2 ^{bc}	18,2 ± 2,1 ^h	11,9 ± 1,1 ^e	35,5 ± 1,9 ^g	296,6 ± 88,4 ^c	1,7 ± 0,5 ^{de}
L27D200	40,8 ± 7,3 ⁱ	29,1 ± 9,3 ⁱ	22,6 ± 1,5 ^e	10,8 ± 1,8 ^{gh}	30,1 ± 3,7 ⁱ	165,1 ± 75,9 ⁱ	1,2 ± 0,5 ^g
L36D300	134,0 ± 21,3 ^a	113,7 ± 28,2 ^a	23,2 ± 1,7 ^e	13,5 ± 0,9 ^{bc}	45,6 ± 3 ^a	473,9 ± 44,3 ^a	3,4 ± 0,4 ^a
L46 D300	62,4 ± 12,4 ^h	54,4 ± 10,4 ^h	22,4 ± 2,3 ^e	9,1 ± 1 ^j	37,8 ± 3,1 ^{ef}	219,0 ± 30,2 ^{fg}	1,5 ± 0,3 ^{ef}
L72 D300	87,4 ± 17,9 ^{de}	65,6 ± 14 ^{ef}	22,8 ± 1,8 ^e	11,3 ± 1,2 ^f	35,9 ± 1,5 ^g	235,9 ± 44,7 ^{efg}	1,7 ± 0,4 ^{de}
L73 D300	90,5 ± 13,8 ^{cde}	77,2 ± 12,7 ^{bcd}	21,2 ± 3,5 ^f	13,7 ± 1,1 ^{bc}	37,5 ± 0,4 ^f	248,1 ± 23,8 ^{de}	1,6 ± 0,3 ^{de}
L77 D300	99,7 ± 14,7 ^{bc}	84,0 ± 13,3 ^b	29,5 ± 1,5 ^b	13,2 ± 0,8 ^c	38,8 ± 2,1 ^{de}	239,1 ± 32,7 ^{ef}	2,2 ± 0,3 ^c
L80 D300	88,2 ± 17,3 ^{de}	74,6 ± 17,1 ^{cd}	32,5 ± 3,2 ^a	14,0 ± 1,1 ^b	35,4 ± 2,6 ^g	272,4 ± 55,7 ^{cd}	2,8 ± 0,6 ^b
L87 D200	93,2 ± 7,8 ^{bcd}	79,4 ± 7,8 ^{bc}	31,6 ± 13,3 ^a	12,6 ± 0,8 ^d	36,1 ± 1,3 ^g	254,8 ± 31,1 ^{de}	2,5 ± 1 ^c
L93 D200	75,1 ± 9,6 ^g	58,5 ± 8 ^{gh}	23,6 ± 1,3 ^c	10,7 ± 2,1 ^{hi}	33,0 ± 3,1 ^h	190,6 ± 48,6 ^h	1,4 ± 0,4 ^f
L94 D200	100,1 ± 9,5 ^b	82,8 ± 7,8 ^b	31,5 ± 3,6 ^a	11,3 ± 1,5 ^{fg}	41,4 ± 1,9 ^{bc}	238,6 ± 63,4 ^{efg}	2,3 ± 0,6 ^c
L103 D200	84,4 ± 15,6 ^{ef}	71,9 ± 14,8 ^{de}	19,6 ± 2,4 ^g	10,2 ± 0,8 ^{hi}	40,7 ± 2,1 ^c	293,8 ± 44,8 ^c	1,8 ± 0,3 ^d
L104 D200	78,8 ± 20,1 ^{fg}	66,1 ± 15,6 ^{ef}	22,7 ± 1,7 ^e	10,1 ± 1,2 ⁱ	39,1 ± 2,4 ^d	257,7 ± 63,2 ^{de}	1,8 ± 0,4 ^d
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P : Probabilité associée à la statistique ; **DE** : diamètre de l'épi, **LngE** : longueur de l'épi ; **M100G** : Masse de 100 graines, **NGE** : Nombre de grains par épi, **MEASP** : Masse de l'épi avec les spathes, **MESSP** : Masse de l'épi Sans Spathes, **RE** : Rendement.

1.1.7.3- Corrélation entre les différentes variables de la production des lignées de maïs

Afin d'établir des liens potentiels entre les différents paramètres mesurés au cours de cette étude, une matrice de corrélation a été réalisée (Tableau XIV). L'analyse de cette matrice révèle plusieurs corrélations positives significatives. Le taux de levée est positivement corrélé avec la hauteur des plantes (0,53), le délai d'apparition des épis (0,53), le poids des épis sans les spathes (0,50) et la longueur des épis (0,58). De plus, la hauteur des plantes présente une forte corrélation positive avec la hauteur d'insertion de l'épi (0,79), le diamètre au collet (0,64), l'apparition des épis (0,54), le poids des épis avec les spathes (0,66), le poids des épis sans les spathes (0,50) et la longueur des épis (0,59). Par ailleurs, la hauteur d'insertion est fortement corrélée avec l'indice de sensibilité à la verse (0,67). Le diamètre au collet est corrélé avec la surface foliaire (0,70) et le poids des épis avec les spathes (0,52).

En ce qui concerne l'apparition de la panicule, une corrélation positive significative est observée avec la libération du grain de pollen à 50 % (0,88), l'apparition des épis (0,61) et l'apparition de la soie (0,65). De plus, la libération du grain de pollen à 50 % est positivement corrélée avec l'apparition de la soie (0,57). Par ailleurs, il existe une corrélation très forte entre le poids des épis avec les spathes et le poids des épis sans les spathes (0,97), le nombre de graines par épi (0,82), le rendement (0,81), le diamètre des épis (0,73) et la longueur des épis (0,58). Une forte corrélation positive est également observée entre le poids des épis sans les spathes et le rendement (0,84), le nombre de grains par épi (0,85), le diamètre des épis (0,70) et la longueur des épis (0,63). De plus, la masse de 100 grains est positivement corrélée avec le rendement (0,53). La longueur des épis a présenté une corrélation positive avec le rendement (0,71) et le nombre de grains par épi (0,55). Tout comme la longueur des épis, le diamètre des épis est positivement corrélé avec le rendement (0,55) et le nombre de grains par épi (0,63). Enfin, le nombre de grains par épi est fortement corrélé avec le rendement (0,82). La corrélation positive la plus significative a été obtenue entre le poids des épis avec les spathes et le poids des épis sans les spathes (0,97)

Tableau XIV: Corrélation entre les caractères de production des lignées de maïs issues de la 5^e génération

	TL	HP	HIE	ISV	DC	NF	SF	Ap. Pa	50%.po	Ap.Ep	Ap.S	PEASP	PESSP	P100G	LngE	DE	NGE	RE	
TL	1,00																		
HP	0,53	1,00																	
HIE	0,21	0,79	1,00																
ISV	-0,05	0,24	0,67	1,00															
DC	-0,04	0,64	0,49	0,09	1,00														
NF	-0,02	0,15	0,21	0,11	0,16	1,00													
SF	0,12	0,39	0,42	0,30	0,70	0,01	1,00												
Ap. Pa	0,24	-0,01	-0,21	-0,01	-0,05	0,42	-0,12	1,00											
50%.po	-0,12	-0,23	-0,25	0,09	-0,17	0,30	-0,23	0,88	1,00										
Ap.Ep	0,53	0,54	0,27	0,15	0,27	-0,03	0,23	0,61	0,40	1,00									
Ap.S	0,31	0,27	-0,01	-0,01	0,19	-0,18	0,05	0,65	0,57	0,85	1,00								
PEASP	0,38	0,66	0,49	0,22	0,52	0,21	0,43	0,14	-0,09	0,31	0,19	1,00							
PESSP	0,50	0,65	0,45	0,17	0,39	0,16	0,35	0,11	-0,18	0,33	0,15	0,97	1,00						
M100G	0,16	0,32	-0,05	-0,08	0,40	0,11	0,19	0,36	0,16	0,37	0,23	0,24	0,23	1,00					
LngE	0,58	0,59	0,38	0,14	0,35	0,00	0,47	-0,18	-0,45	0,18	-0,11	0,58	0,63	0,38	1,00				
DE	-0,04	0,14	0,10	0,10	0,26	0,30	0,21	0,27	0,17	0,09	0,14	0,73	0,70	0,07	0,04	1,00			
NGE	0,30	0,35	0,29	0,02	0,27	0,00	0,41	-0,21	-0,44	-0,03	-0,17	0,82	0,85	-0,06	0,55	0,63	1,00		
RE	0,35	0,45	0,19	-0,05	0,45	0,07	0,46	0,00	-0,31	0,13	-0,06	0,81	0,84	0,53	0,71	0,55	0,82	1,00	

Les valeurs en gras indiquent l'existence d'une corrélation significative positive entre les variables concernées. **DE** : Diamètre de l'épi ; **LngE** : Longueur de l'épi ; **M100G** : Masse de 100 graines, **NGPE** : Nombre de grains par épi, **MEASP** : Masse de l'épi avec les spathes ; **MESSP** : Masse de l'épi Sans Spathes ; **RE** : Rendement ; **DAp.Pa** : Délai d'Apparition de panicule ; **DAp.Epi** : Délai d'Apparition d'épi ; **50 % Po** : Floraison Mâle (50 % pollen) ; **DAp.Sois** : Délai d'Apparition de soie. **NF** : Nombre de feuilles ; **SF** : Surface foliaire de la Plante ; **LngF** : Longueur des Feuilles ; **LagF** : Largeur des feuilles ; **HP** : Hauteur de la plante ; **HIE** : Hauteur d'insertion de l'Epi ; **ISV** : Indice de sensibilité à la verse ; **DC** : Diamètre au collet ; **TL** : Taux de levée

1.1.7.4- Visualisation des différences entre les lignées de maïs par ACP portant sur les paramètres de production

La projection des variables dans le plan factoriel F1- F2 a révélé que celles-ci sont bien représentées dans l'ensemble (Figure 19). En effet, une variable possède une qualité représentative si elle est positionnée sur le cercle ou proche du cercle. La projection des variables dans le plan factoriel a montré que toutes les variables excepté M100G et le DE, ont participé à la discrimination des caractères étudiés. Le plan factoriel formé par les axes 1 et 2 expliquent 68,96 % de la variabilité. De plus, l'examen du cercle de corrélation a révélé qu'il existe trois (3) caractères associés à l'axe 1 : le rendement (RE), le poids des épis avec les spathes (PEASP) et le poids des épis sans les spathes (PESSP), la longueur des épis (LngE) et nombre de grain par épi (NGE). L'axe 2 est caractérisé par la libération du grain de pollen à 50 % (50 % . Po), l'apparition de la panicule (Ap.Pa), l'apparition de la soie (Ap.S) et l'apparition de l'épi (Ap.Ep).

Des différences ont été observées au niveau des échantillons de maïs. L'ACP a permis de visualiser ces différences. L'échantillon L36 est caractérisé par le rendement (RE), le poids des épis sans spathes (PESS), le poids des épis avec spathes (PEAS), la longueur des épis (LngE) et le nombre de grains par épi (NGE) les plus élevés, au contraire de l'échantillon L93. En outre, les échantillons L77, L94, L87 sont plutôt caractérisés par les délais d'apparitions de la soie (Ap.S), de l'épi (Ap.Ep) et de la panicule (Ap.Pa) avec les valeurs les plus élevées.

1.1.7.5- Regroupement des individus par classification hiérarchique ascendante

En tenant compte des similarités portant sur les paramètres de production entre les différentes lignées étudiées, une classification hiérarchique ascendante a été réalisée. Le dendrogramme obtenu est présenté sur la figure 20. L'observation de la figure permet d'identifier quatre (4) groupes d'individus statistiquement distincts à partir d'un niveau de troncature correspondant à 6000 unités arbitraires. Le groupe 1 (G1) est composé de lignée L36. Le groupe 2 (G2) regroupe les lignées L04 ; L27 ; L46 ; L72 ; L93. Le groupe 3 (G3) comprend L73 ; L77 ; L80 ; L87 ; L94 et L104. Enfin, le groupe quatre (4) est composé de L08 ; L103 ainsi que du témoin T0. Cette typologie en quatre classes prend en compte 92 % de la variance.

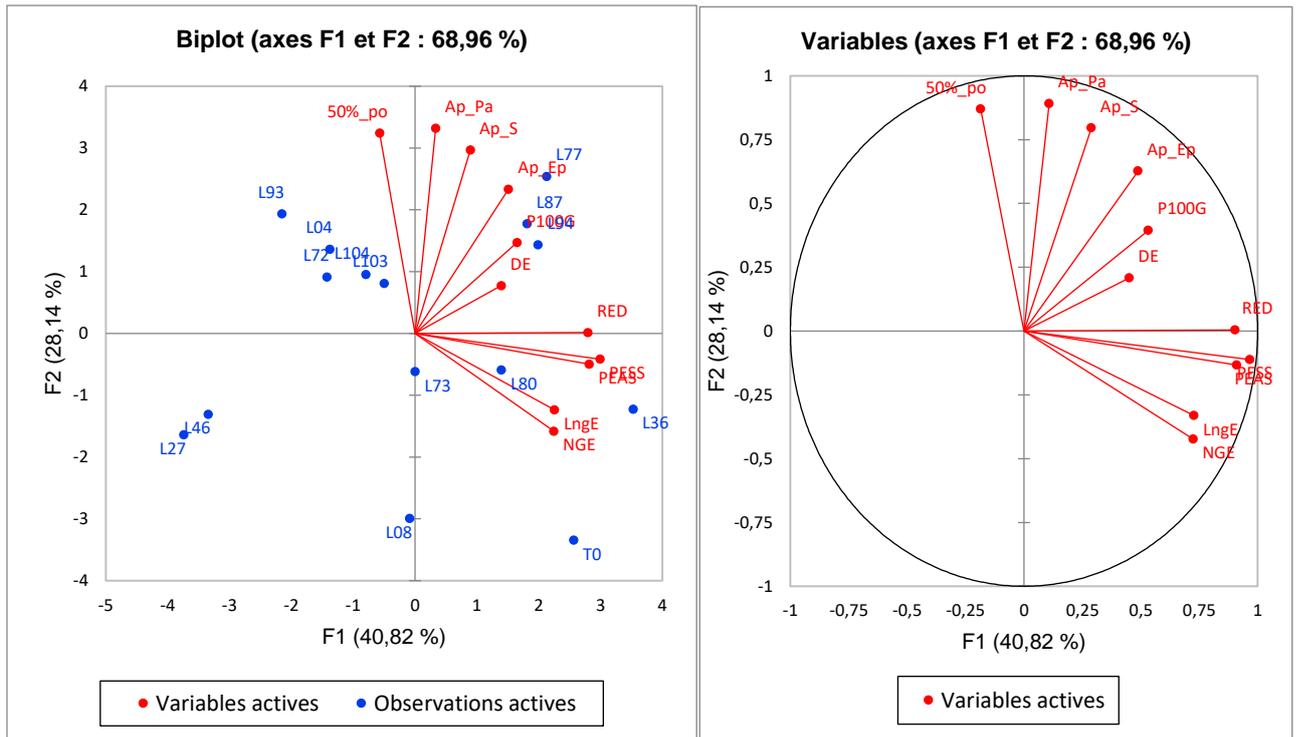


Figure 17 : Cercle de corrélation entre les variables des individus

DE : Diamètre de l'épi, LngE : Longueur de l'épi ; M100G : Masse de 100 graines, NGE : nombre de grains par épi, MEAS : Masse de l'épi avec les spathes, MESS : Masse de l'épi Sans Spathes, RE : Rendement ; Ap_Pa : Délai d'Apparition de panicule ; Ap_Ep : Délai d'Apparition d'épi ; 50%_Po : Floraison Mâle (50 % pollen) ; Ap_S : Délai d'Apparition de soie.

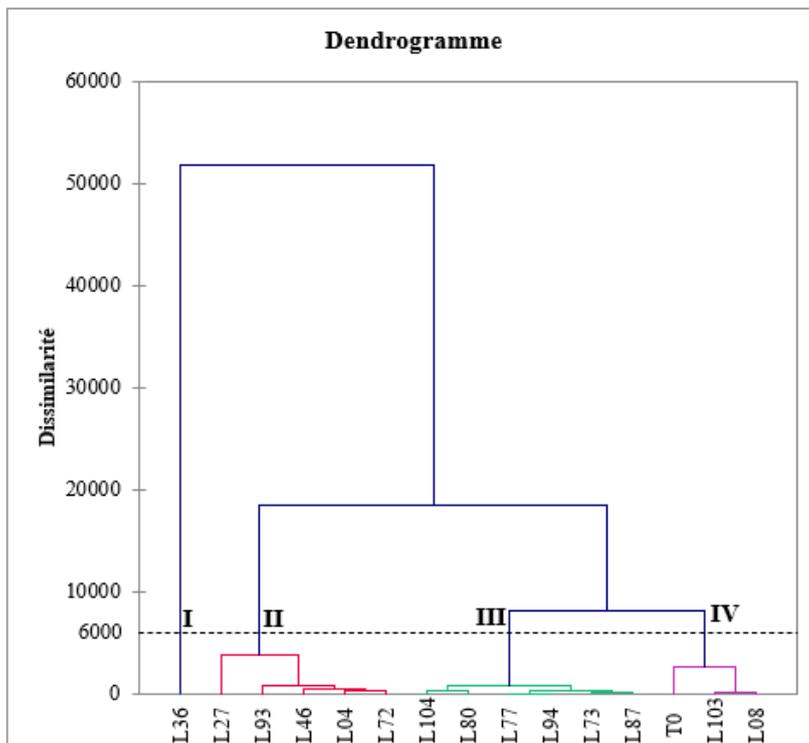


Figure 18 : Arbre hiérarchique des lignées de maïs issues de la 5^e génération en tenant compte des paramètres de production

1.2- Discussion

La connaissance de la diversité génétique est essentielle dans le domaine de la sélection des variétés. Identifier cette diversité, pour certains traits, représente une étape incontournable dans la caractérisation des ressources génétiques (Radhouane, 2004). En effet, tout programme d'amélioration des ressources agricoles s'appuie, nécessairement, sur la variabilité phénotypique (Smith *et al.*, 1991). Dans ce contexte, une étude agromorphologique a été menée sur 14 lignées de maïs blanc et rouge, nouvellement développées, à partir de graines irradiées par des rayonnements gamma provenant de la variété témoin EV8728. L'objectif était d'identifier les différents caractères spécifiques à chaque lignée, afin de les distinguer. La diversité morphologique observée a été regroupée en plusieurs catégories, se distinguant par le taux de germination, les caractéristiques agro-morphologiques, la période de floraison et la production.

➤ Évaluation du taux de levée des lignées de maïs au cours du cycle de culture

La variation observée dans le taux de levée peut refléter une diversité de qualité des semences, qui résulterait principalement de leurs états sanitaire et physiologique, étant donné qu'elles ont été soumises à des doses d'irradiation différentes. La comparaison des moyennes fait apparaître de nettes différences significatives entre les lignées. La date de levée est le début de la phase végétative ou de croissance ; pour une variété donnée. Elle correspond au nombre de jours entre le semis et le jour où 100 % des coléoptiles sont visibles à la surface du sol. Elle survient après la germination où la radicule sort de la graine. Pendant cette étape, la germination déclenchée par l'imbibition du grain se traduit par une mobilisation des tissus de réserve tels que le scutellum et l'albumen et par le développement de la radicule, puis des racines séminales secondaires qui apparaissent au niveau du nœud scutellaire. Les résultats montrent que les lignées de maïs étudiées ont les mêmes dates d'apparition de coléoptiles allant de 3 à 6 jours. Au bout de six (6) jours, toutes les semences mises en terre ont germé et le taux varie de 53,1 % (L04_{D200}) à 95,8 % (L80_{D300}). Ces résultats se rapprochent de ceux de Deffan *et al.* (2015) qui indiquent que la date de levée concernant le maïs se situe entre 6 et 10 jours. La lignée L04 est la seule ayant le plus faible taux de levée. Cela est peut-être dû à la lignée ou à l'état des semences, étant donné que toutes les lignées étudiées ont été cultivées dans les mêmes conditions (profondeur de semis, état du sol et contraintes climatiques). En effet, les techniques et les conditions de culture influent sur la levée et donc sur le nombre de plants (Deffan *et al.*,

2015). Contrairement à cette observation, Massawe *et al.* (2005) ont signalé l'effet favorable de la taille des graines sur l'émergence des plantules.

➤ Comparaison des paramètres de levée et de croissance des lignées étudiées

L'analyse statistique a montré des écarts très fortement significatifs entre les valeurs moyennes, pour l'ensemble des caractères analysés, non seulement, entre les lignées choisies, mais, surtout, entre celles-ci (lignées) et le témoin, pour l'ensemble des paramètres considérés. Ces différentes variations ont mis en évidence une grande diversité morphologique au sein des lignées étudiées. Cette diversité morphologique serait liée à la variabilité des ressources génétiques de chaque lignée. Des résultats similaires ont été obtenus par N'da *et al.* (2013), en évaluant la diversité agro-morphologique des accessions de maïs (*Zea mays* L.), collectées en Côte d'Ivoire. Selon Hidayat *et al.* (2008), cette structuration de la diversité morphologique montre que chez les maïs cultivés, la différenciation morphologique est, souvent, basée sur les traits agronomiques. En effet, les résultats de l'analyse statistique des variables de croissance et de développement ont montré des différences significatives entre les lignées étudiées en termes de hauteur de plante, de hauteur d'insertion de l'épi, de position d'insertion de l'épi, de diamètre au collet, de nombre de feuilles et de surface foliaire. La diversité morphologique, ainsi exprimée, montre que chez les variétés de maïs cultivées, la différenciation morphologique est souvent, basée sur les traits agronomiques.

L'évaluation des paramètres de croissance a montré une différence de taille observée par rapport au témoin T0_{D0}. Ainsi, le développement végétatif a été plus important chez L08_{D200} ; L80_{D300} ; L87_{D200} ($185,2 \pm 13,3$; $172,5 \pm 14,7$ cm et $172,2 \pm 12,6$ cm) contrairement au témoin T0 (EV8728), soit $154,2 \pm 14,3$ cm. Ce qui pourrait exprimer des spécificités au niveau des gènes et aussi à la couleur des grains et même des spécificités nutritionnelles. Les lignées pourraient présenter des variations dans les gènes codant pour les hormones de croissance (auxines, gibbérellines) ou les facteurs de transcription régulant la croissance. La couleur des grains peut être liée à la présence de pigments (anthocyanes, caroténoïdes) qui peuvent avoir des effets sur la croissance des plantes. De façon nutritionnelle, les lignées pourraient présenter des différences dans l'efficacité d'absorption et d'assimilation des nutriments essentiels (azote, phosphore, potassium). Ceci est en accord avec les travaux de Touré *et al.* (2013) qui ont montré qu'il existe une variabilité entre les morphotypes pour la taille, le nombre de feuilles, la surface foliaire des semences de différentes couleurs. Les diversités morphologiques observées chez les cultivars de maïs, semblent être intrinsèquement liées à la variabilité des ressources

génétiques propres à chaque lignée. Pour Sergey *et al.* (2019), l'irradiation peut, également, renforcer la résistance des plantes à des conditions environnementales stressantes (comme la sécheresse ou les maladies), ce qui peut maintenir ou augmenter la surface foliaire. En outre, l'irradiation gamma peut influencer la photosynthèse par le biais de mutations et de l'amélioration de la surface foliaire ; ce qui contribue à une meilleure croissance et productivité des plantes de maïs (Priya *et al.*, 2022).

Cette variabilité génétique, en grande partie due à la capacité d'adaptation à l'environnement de culture, se manifeste dans les caractères agro-morphologiques évalués. En effet, lors d'une évaluation de la performance agronomique dans un environnement, des différences significatives ont été constatées. Ces variations témoignent de la diversité génotypique des cultivars de maïs. Par ailleurs, une étude, sur la réponse de la hauteur et du diamètre de la tige au stress hydrique à différents stades de développement du maïs a montré l'importance de la variabilité génétique entre les génotypes (Mtyobile, 2021). Les études sur les variations structurales du génome du maïs ont révélé que ces variations, associées aux performances des hybrides, sont à l'origine de la diversité morphologique observée entre les différentes lignées. La variation de la croissance des plants de maïs est également influencée par les relations et l'héritabilité dans les environnements agronomiques. Les différences de croissance observées sont dues à la façon dont les lignées s'adaptent aux conditions environnementales variables (Andrew *et al.*, 2007). De plus, la variabilité, constatée dans la présente étude peut être attribuée à l'application d'une irradiation aux semences de la variété EV8728, utilisée comme témoin. Cette irradiation aux rayons gamma aurait provoqué des altérations significatives dans le génome des semences, qui sont responsables des divers caractères observés. Des recherches antérieures, menées par Fondio *et al.* (2013), ont démontré que cette pratique induit des modifications aléatoires à différents niveaux du génome, conduisant ainsi à la création de lignées distinctes, présentant des caractéristiques variées. Pour Fondio *et al.* (2013), une étude sur des variétés de tomate a montré que leur croissance varie en fonction de leur génotype. La diversité constatée dans les caractéristiques de croissance des lignées étudiées semble découler également de leur aptitude à s'adapter à l'environnement de culture. Ils ont établi une corrélation entre les variations de croissance de différentes variétés de tomates et les interactions complexes entre le génotype spécifique de chaque variété et les conditions environnementales dans lesquelles elles ont été exploitées.

Les pratiques de gestion paysanne des semences, notamment, les échanges de variétés entre agriculteurs, sont à l'origine d'une diversité importante entre les populations de plantes

cultivées (Mckey *et al.*, 2008). Cette diversification des lignées dans leurs croissances peut être due, particulièrement, à la température, la pluviométrie, le taux d'humidité et la durée de l'ensoleillement. Mbiadjeu-Lawou *et al.* (2021) ont montré que la pluviométrie contribue, également, à la diversité des lignées de maïs. Pour ces auteurs, le changement et la diminution de la pluviométrie pourraient affecter la culture du maïs. Les chercheurs ont constaté, lors d'une étude, que la pluie affecte la croissance de certaines variétés de maïs, entraînant des retards. En effet, l'activité des racines est modifiée par la variation des précipitations, ce qui a un impact sur la croissance des plantes de maïs. Ils ont également montré que des conditions de précipitations et d'humidité favorables ont permis une croissance exceptionnelle des hybrides de maïs. Des conclusions ont été tirées de l'étude de Traoré (2016) concernant l'adaptation de la culture du maïs en saison sèche, indiquant par la suite que la culture du maïs présente trois (3) types de croissance qui sont entre autres des retards, des croissances normales et des croissances accélérées. Ces différentes variations de croissance sont liées à la capacité d'adaptation de chaque variété à la variation de température dans son environnement.

➤ **Comparaison des paramètres phylogéniques des lignées étudiées**

Les résultats concernant la synthèse foliaire et l'expression de la surface des feuilles ont, également, mis en lumière une diversité significative. Cette variabilité, peut également, être attribuée à l'application de rayonnements ionisants, utilisés lors de l'identification de manière sélective des lignées ; ce qui entraîne des réponses morphologiques et physiologiques distinctes au sein de ces lignées. Des travaux antérieurs, notamment, ceux de Yapo *et al.* (2022), ont montré que certaines doses de rayonnement gamma ont un impact inhibiteur sur le développement des plantes, entraînant, ainsi, des modifications dans la forme de la surface photosynthétique et le nombre de feuilles. Des résultats similaires ont été rapportés par Abdul *et al.* (2010) sur *Lepidium sativum*. Selon ces auteurs, le nombre de feuilles, la hauteur et le nombre de nœuds de cette plante diminuent avec l'augmentation de la dose d'irradiation gamma. Ce rayonnement ionisant provoquerait des effets génétiques, principalement, des modifications de l'ADN et de l'ARN, car ils ont observé des changements tels que les ruptures de chaînes ou des liaisons hydrogène, entraînant ainsi le blocage de la réplication de l'ADN. Cependant, Yadav (2016) précise que le rayonnement gamma à faible dose (50 et 100 grays) induit une augmentation de la croissance des plantes et une augmentation du nombre de nœuds de *Canscora decurrens*.

➤ Comparaison des paramètres de floraison

Dans l'ensemble, le cycle végétatif des lignées étudiées, évalué à partir des délais de floraison mâle et femelle, a présenté des variations considérables. Concernant la floraison mâle, caractérisé par la libération du grain de pollen s'est produite en moyenne au bout de 49,7 jours pour la lignée L08_{D200} et au bout de 58,5 jours pour L77_{D300}. Pour la floraison femelle, elle a eu lieu en moyenne après 44,4 jours pour le témoin (T0) et après 57,4 jours pour L77_{D300}. Ainsi, il est important de noter que les lignées obtenues ont généralement montré un délai de floraison plus tardif par rapport au témoin. De plus, il convient de souligner que l'écart de temps entre les deux floraisons a été relativement restreint, s'établissant en moyenne entre 4 et 6 jours.

Les résultats obtenus sont conformes à ceux de Fleury (2010) qui soutient que l'intervalle requis entre la floraison mâle et la floraison femelle est inférieur à 6 jours. Les cycles de floraison impliquant cette transition sont très dépendants de la température du sol. En effet, une température inférieure à 15 °C peut induire un ralentissement de la croissance, une réduction de la surface foliaire et une réduction de l'absorption de minéraux par les racines. Après analyse, les résultats ont montré que le premier groupe composé de L04_{D200} ; L72_{D300} et L77_{D300} se caractérisait par un cycle de semi-floraison femelle (DAp.Epi) court compris entre 44 et 57 jours. Cette proximité temporelle indique une convergence notable entre les floraisons mâle et femelle au sein de ces lignées. Les travaux de N'da *et al.* (2014), sur 171 accessions de maïs, ont montré que les groupes de maïs précoces et intermédiaires proviennent, en général, des zones agroécologiques, où, la pluviométrie est moins élevée (800 à 1300 mm par an), notamment le Nord et le Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. En revanche, les groupes de maïs tardifs et très tardifs proviennent surtout des zones agroécologiques, où, la pluviométrie est importante (Ouest et Sud-Ouest) (> 2000 mm). Ces résultats sont en accord avec Peter & Ellen (2002) qui indiquent l'existence d'une relation étroite entre la longueur du cycle et la disponibilité en eau. La structuration de la diversité morphologique, selon les zones agroécologiques, a été mentionnée pour diverses plantes. Akanvou *et al.* (2012) indiquent qu'elle permet de distinguer le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) de la Côte d'Ivoire en deux grands groupes : un groupe de mils de taille moyenne et précoce, cultivé au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire et un groupe de mils de grande taille et tardif, cultivé au Nord-Est du pays.

Le moment d'apparition du grain de pollen et de la soie a affiché des variations en moyenne allant d'un (1) à quatre (4) jours, que ce soit entre différentes lignées ou au sein de la même plante (plante monoïque). Ceci peut s'expliquer par le fait que les cycles de floraison sont très dépendants de la température du sol et de l'humidité relative. Selon Deffan *et al.*

(2015), cette variabilité dans le déclenchement de l'inflorescence trouve son origine dans les modifications des cycles de semi-floraison des variétés cultivées. Ces changements dans le cycle floral des plantes seraient associés aux caractéristiques génétiques de chaque lignée. Kahrman *et al.* (2015) ont constaté une variation considérable des caractéristiques de floraison entre les familles et leurs générations dans une étude de l'effet génétique sur les caractéristiques de floraison chez le maïs pour une utilisation potentielle dans les sélections futures. D'après leurs observations, les variations florales étaient influencées par plusieurs facteurs, notamment les types d'action des gènes, les valeurs d'héritabilité étroites, le nombre de gènes effectifs et le gain génétique. Selon l'étude menée par Chen *et al.* (2021), la variabilité florale du maïs est principalement due à des mutations spontanées au sein des locus géniques. Ces mutations sont fréquentes dans certaines lignées de maïs et sont principalement causées par des rétrotranspositions. Il est important de noter que les rétrotransposons spécifiques sont mobiles chez certaines lignées de maïs, mais pas chez d'autres. Cette différence serait à l'origine des diverses dates d'apparition du grain de pollen, de l'épi et de la soie chez ces différentes lignées. Selon Deffan *et al.* (2015), la variabilité de l'initiation à l'inflorescence est à l'origine du changement des cycles de semi-floraison des variétés cultivées. De plus, l'étude menée par Lei Du *et al.* (2021) a permis de décortiquer les bases génétiques de la durée de floraison en utilisant deux populations haploïdes doublées chez le maïs. Pour Lei Du *et al.* (2021), la diversité des dates d'apparition des caractéristiques de floraison était étroitement liée à la composition génétique spécifique de chaque lignée. En effet, les variations dans les moments où les fleurs se manifestent, tant entre différentes espèces qu'au sein d'une même espèce, sont influencées par les interactions mutuelles entre les plantes et leurs bases génétiques. Cette variabilité dans les périodes de floraison est également observée chez d'autres espèces (Todesco *et al.*, 2022). Cependant, les variations en période florale observées entre différentes lignées peuvent être attribuées à des facteurs agroécologiques tels que la température, la pluviométrie et l'insolation. Les modifications climatiques à l'échelle mondiale, qui induisent des épisodes de canicule plus intenses, représentent une menace considérable pour les étapes de floraison et la productivité agricole. Afin de maximiser les rendements, il est impératif de cultiver le maïs dans des conditions de température optimales. Par conséquent, il est crucial d'assurer un environnement propice à la croissance de cette culture (Li *et al.*, 2023).

➤ **Comparaison des performances agronomiques**

Quatorze lignées de maïs irradiées aux rayons gamma à des doses de 200 et 300 grays ont montré des performances agronomiques remarquables dans l'ensemble. Comparativement

au témoin T0_{D0}, le cycle de reproduction des lignées étudiées a généralement montré un délai de floraison plus tardif. Selon Dooner *et al.* (2019), les mutations spontanées au niveau des locus géniques provoquées par l'irradiation contribuent à la diversité florale du maïs. Dans certaines lignées, ces mutations se produisent principalement en raison de rétrotranspositions. En effet, certaines lignées de maïs ont des rétrotransposons spécifiques qui ne sont pas mobiles. Cette caractéristique peut être attribuée à la capacité de ces lignées à résister à des périodes de sécheresse ou à des périodes de moindre abondance de précipitation. Le délai d'apparition du grain de pollen et de la soie varie de 1 à 4 jours entre différentes lignées ou au sein de la même plante (plante monoïque). Cela peut être dû au fait que les cycles de floraison sont fortement influencés par la température du sol et l'humidité relative. Selon Deffan *et al.* (2015), les modifications des cycles de semi-floraison des variétés cultivées sont à l'origine de cette variabilité dans le déclenchement de l'inflorescence. La longueur et le diamètre des épis présentent également une variation qui est due à l'utilisation de l'irradiation gamma. Pour Tan *et al.* (2023), les changements dans les gènes liés à la croissance peuvent se traduire par des épis plus longs ou plus larges. Par exemple, des gènes régulant le développement floral peuvent être modifiés par l'irradiation, influençant ainsi la taille des épis. L'irradiation peut également stimuler la croissance globale des plantes, ce qui peut se traduire par des épis plus volumineux. Une meilleure nutrition et un meilleur accès à l'eau peuvent également accompagner cette stimulation (Zhang *et al.*, 2019). De plus, L'irradiation gamma peut provoquer des mutations dans l'ADN des semences, qui pourraient affecter positivement le développement des épis. Ces mutations peuvent modifier les gènes responsables de la croissance et du remplissage des grains. Les résultats sont accord avec ceux de Bhupinder & Datta (2010) qui ont affirmé que l'irradiation peut également favoriser le développement global de la plante, ce qui se traduit par des épis plus grands et plus nombreux. Cela peut conduire à une augmentation de la masse totale des grains. Pour ces auteurs, l'utilisation de faibles doses de rayonnement gamma est prometteuse pour l'amélioration physiologique des cultures. Cette faible dose augmenterait la taille des épis chez le blé et la masse des graines. Cette modification observée serait principalement d'ordre physiologique plutôt que génétique, et que les hormones de croissance pourraient jouer un rôle essentiel (Bhupinder & Datta, 2010). L'utilisation du rayonnement gamma peut aussi avoir un impact sur les rendements. En effet, les résultats ont révélé une augmentation de la production de la lignée L36 de 3,4 t/ha contrairement au témoin non irradié qui est de 3,1 t/ha. Cette augmentation est due à une optimisation de l'utilisation de l'eau et des nutriments, ce qui favorise le développement des épis et le remplissage des grains. Les résultats concordent avec ceux de Sumira *et al.* (2012) qui affirment que l'irradiation peut renforcer la

résistance des plantes aux maladies, aux ravageurs et aux conditions environnementales difficiles, ce qui peut améliorer le rendement en grains.

➤ **Corrélation entre différentes variables et analyse de l'ACP et projection des individus**

Les corrélations ont été négatives, mais très faibles voire nulles et non significatives entre les paramètres de floraison et le rendement. Cependant, le nombre de grains par épi et le rendement ont présenté une très forte corrélation positive. Il conviendrait de souligner que la cohérence entre la libération du grain de pollen et la réceptivité des soies joue un rôle crucial dans la réussite de la fécondation et l'optimisation du rendement. Plusieurs éléments, tels que les conditions environnementales, la génétique de la plante et la gestion culturale, peuvent exercer une influence sur cette synchronisation.

L'analyse de variance relative aux performances de production des différentes variétés a révélé des écarts importants ou significatifs pour l'ensemble des caractères, ce qui témoigne d'une forte variabilité entre les lignées. En Côte d'Ivoire, N'da *et al.* (2014) et Deffan *et al.* (2015) ont rapporté une variabilité significative importante du poids total des épis pour la même céréale. Selon les rapports de la FAO (1993), le poids des grains dépend entre autres, des facteurs génétiques (liés à chaque variété), des facteurs environnementaux et des méthodes agronomiques (fertilisation, date et densité de semis, protection antifongique, etc.).

La lignée L36_{D300} a produit les rendements en grains les plus élevés (3,4 t/ha) tandis que la lignée L27_{D200} a produit les rendements en grains les plus faibles (1,53 t/ha). Le faible rendement de la lignée L27_{D200} et des autres pourrait être attribué à une courte période de manque d'eau qui s'est produite au cours de l'essai, plus précisément pendant la phase de maturation. Le potentiel de ces variétés testées aurait été affecté négativement par ce manque d'eau.

Par ailleurs, les irradiations gamma auxquelles ont été soumises ces lignées, pourraient expliquer les variations de rendement observées. De plus, l'exposition de ces lignées à différentes doses d'irradiation gamma pourrait avoir influencé leur productivité. Les rendements plus élevés observés chez la lignée L36_{D300} pourraient être attribués à des mutations induites par l'irradiation, lui conférant un potentiel de production supérieur à celui du témoin. Dans l'ensemble, le rendement moyen a été de 2,04 tonnes par hectare. Ce rendement est supérieur à 1,7 t/ha enregistré dans la sous-région ouest africaine (Smale *et al.*, 2011). Toutefois, ces rendements restent inférieurs à ceux obtenus avec les variétés améliorées, généralement,

compris entre 4,4 et 5,4 t/ha. Pour atteindre ces niveaux de production, il est recommandé de suivre les itinéraires techniques mis au point par Moussa *et al.* (2018). Les conditions agroclimatiques du site d'étude, notamment, la pluviométrie, la température et l'humidité relative, ainsi que les caractéristiques pédologiques, pourraient expliquer ces différences de rendement.

1.3- Conclusion partielle

L'analyse en composantes principales, combinée à la classification ascendante hiérarchique, a permis de mettre en évidence des différences significatives de performances agronomiques entre les lignées étudiées. Ces différences s'expliquent par les regroupements observés en fonction des variables agronomiques mesurées au cours du cycle de culture.

Les résultats obtenus ont révélé une importante variabilité agromorphologique et agronomique parmi les différentes lignées de maïs étudiées. Les variables de levée et de croissance ont montré une grande diversité entre les lignées. La lignée L73_{D300} a montré les taux de levée les plus élevés dès le début, en comparaison avec le témoin. En ce qui concerne la morphologie des plantes, les lignées L08_{D200} ; L36_{D300} et L04_{D200} ont montré des plantes plus grandes avec un diamètre au collet plus important. Cependant, les lignées présentant une grande surface foliaire sont les lignées L36_{D300} et L80_{D300}.

Par ailleurs, l'étude agronomique a révélé une variabilité qui a permis de regrouper les lignées en quatre groupes homogènes. Le groupe 1 (G1) est constitué de la lignée L36_{D300}, caractérisée par des plantes à rendement élevé, des épis avec et sans les spathes de grande taille. Le groupe 2 (G2) englobe les lignées L04_{D200}, L27_{D200}, L46_{D300}, L72_{D300}, L93_{D200}, qui présentent un faible nombre de grains par épi (NGPE). D'autre part, le groupe 3 (G3) comprend les lignées L73_{D300}, L77_{D300}, L87_{D200}, L94_{D200}, L104_{D200}, qui se distinguent par des plantes à épi long (LngE), des graines de masse élevée (M100G). Enfin, le groupe 4 est composé des lignées L08_{D200}, L103_{D200} et du témoin T0_{D0}, caractérisé par des épis de faible diamètre et des panicules qui apparaissent rapidement. En somme, l'utilisation de la technique d'irradiation avec l'application de deux doses différentes a entraîné des variations morphologiques et de production entre les lignées et le témoin. La présente étude a révélé des lignées de maïs irradié (L36_{D300}) à fort potentiel agronomique se traduisant par un rendement supérieur au témoin. Cette technique d'irradiation semble être efficace pour la sélection du maïs, offrant des avantages. Cependant, il convient de noter qu'elle présente des inconvénients, tels que la durée de sélection pouvant aller de 5 à 10 ans en raison de l'autofécondation. Par conséquent, il serait nécessaire d'orienter les sélectionneurs vers d'autres pistes d'amélioration de la productivité du

maïs en Côte d'Ivoire, notamment en explorant l'utilisation d'autres techniques de sélection telle l'initiation à l'androgenèse afin d'aboutir à la technologie des doubles haploïdes.

2- INITIATION À L'ANDROGENÈSE

Les résultats de l'évaluation de la viabilité et de la germination des microspores isolées pour amorcer le processus d'androgenèse sont présentés dans cette partie du travail. Cette phase est cruciale dans le cadre de cette expérimentation, car elle fournit des données essentielles pour établir une base solide pour l'application de la technologie des doubles haploïdes. L'objectif était d'évaluer différents milieux de culture afin de mettre en place un protocole efficace pour la germination et la régénération des plantes haploïdes, ainsi que pour évaluer la production de doubles haploïdes viables à partir de la colchicine. Ce travail a permis d'approfondir les connaissances sur la période de récolte des microspores, les températures de conservation et les milieux propices à la germination.

2.1- Effet de l'heure de la journée sur la viabilité du grain de pollen de maïs avant stockage

La figure 21 présente l'évolution de la viabilité du grain de pollen de maïs en fonction des heures de la journée (de 9 à 12 h et de 14 à 18 h), avant sa conservation. Des variations de la viabilité pollinique au cours de la journée ont été observées. Le diagramme montre que la viabilité du grain de pollen est globalement élevée le matin (entre 9 h et 11 h), avec des pourcentages dépassant 98 %. Une légère diminution de la viabilité en milieu de journée (entre 12 h et 14 h), avec un point bas autour de 92 % est observée. L'après-midi, la viabilité du grain de pollen semble se stabiliser autour de 96 %, avec une légère remontée en fin de journée (17 - 18 h) (Figure 21).

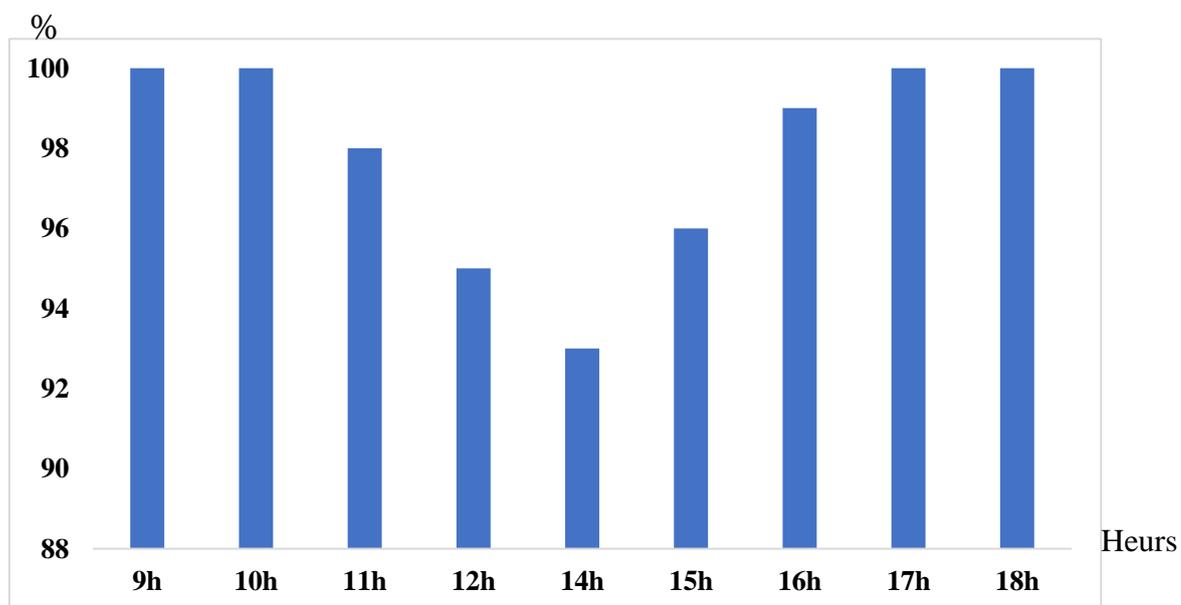


Figure 19: Viabilité du grain de pollen de maïs en fonction de l'heure de récolte

2.2- Effet de la température et de la durée de stockage sur la viabilité du grain de pollen

La visualisation au microscope optique à agrandissement X400 a été effectuée pour l'observation de la viabilité du pollen. La coloration des grains de pollen à l'acétocarmin a révélé la présence de grains de pollen viables et non viables (Figure 22).

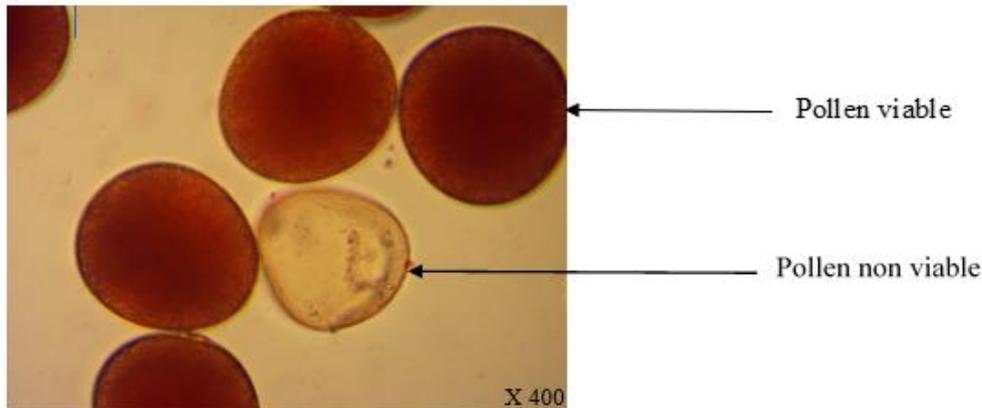


Figure 20 : Microphotographie des grains de pollen viable et non viable de EV8728 à basse température

L'ANOVA a révélé que la durée de stockage au froid influençait de manière significative la viabilité des grains de pollen ($P < 0,05$; Tableau XV). Les résultats ont montré que les grains de pollen de la variété témoin EV8728 cryoconservés pendant un mois (M1) présentaient les taux de viabilité les plus élevés.

Le taux de viabilité du grain de pollen a montré une évolution différente selon les conditions de stockage. Conservé à 3 °C, il s'est maintenu entre 90,23 % et 98,82 % pendant le premier mois, tandis qu'à -26 °C, il a fluctué entre 71,23 % et 80,32 %. Ces résultats indiquent une diminution progressive de la viabilité du grain de pollen stocké à long terme (trois mois) à -26 °C, quelle que soit la durée d'incubation et la période d'échantillonnage. La température d'incubation a également eu un effet significatif ($P < 0,05$) sur la viabilité du grain de pollen, les températures les plus basses (-26 °C) entraînant une diminution significative de celle-ci. La viabilité du grain de pollen diminue également au fil de la journée, atteignant son niveau le plus bas en début d'après-midi.

En addition, le tableau XV révèle une baisse de la viabilité des grains de pollen récoltés pendant les heures les plus chaudes de la journée (de 12 h à 16 h), peu importe la durée d'incubation et la température. De cette manière, les meilleurs taux de viabilité enregistrés à M1

(mois 1) étaient de 98,82 % pour les grains de pollen incubés à 3 °C et récoltés de 9 h à 11 h. Toutefois, ce taux élevé de viabilité a baissé, passant de 95,99 % à 91,81 % entre 12 et 16 heures, avant d'augmenter à environ 95 % entre 17 heures et 18 heures.

Tableau XV : Influence de la durée de conservation, de la température et de la période d'échantillonnage sur la viabilité du grain de pollen (%).

Durée conservation (mois)	T (°C)	Viabilité du grain de pollen (%)								
		Période d'échantillonnage								
		9 h	10 h	11 h	12 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h
M1	3	98,82 ± 0,01 ^a	98,82 ± 0,01 ^a	98,77 ± 0,03 ^a	95,99 ± 0,03 ^a	90,59 ± 0,03 ^a	90,23 ± 0,02 ^a	91,81 ± 0,02 ^a	94,76 ± 0,02 ^a	95,51 ± 0,02 ^a
M2	3	95,01 ± 0,05 ^b	95,01 ± 0,03 ^b	95,01 ± 0,02 ^b	91,53 ± 0,3 ^b	86,13 ± 0,3 ^b	82,87 ± 0,4 ^b	84,45 ± 0,4 ^b	87,40 ± 0,4 ^b	88,15 ± 0,4 ^b
M3	3	93,30 ± 0,1 ^c	93,30 ± 0,1 ^c	86,60 ± 0,1 ^c	77,40 ± 0,3 ^c	72,00 ± 0,3 ^c	74,23 ± 0,01 ^c	75,81 ± 0,01 ^c	78,76 ± 0,01 ^c	79,51 ± 0,01 ^c
M1	-26	80,24 ± 0,1 ^e	80,28 ± 0,1 ^e	80,20 ± 0,1 ^e	80,32 ± 0,2 ^e	74,92 ± 0,2 ^e	71,23 ± 0,01 ^d	72,81 ± 0,01 ^d	75,76 ± 0,01 ^d	76,51 ± 0,01 ^d
M2	-26	80,32 ± 0,2 ^e	80,21 ± 0,3 ^e	80,10 ± 0,3 ^e	80,35 ± 0,2 ^e	74,95 ± 0,2 ^e	68,15 ± 1 ^e	69,73 ± 1 ^e	72,68 ± 0,1 ^e	73,43 ± 1 ^e
M3	-26	76,74 ± 0,2 ^d	76,81 ± 0,03 ^d	76,67 ± 0,3 ^d	73,99 ± 0,03 ^d	68,59 ± 0,03 ^d	65,22 ± 0,01 ^f	66,80 ± 0,01 ^f	69,75 ± 0,01 ^f	70,50 ± 0,01 ^f
P		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Les valeurs moyennes dans une colonne suivie des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. M1 (mois 1) ; M2 (mois 2) ; M3 (mois 3)

2.3- Effet de la concentration de saccharose sur la germination *in vitro* de grain de pollen de maïs

Différents milieux de germination ont été utilisés pour induire la formation de tubes polliniques (Figure 23). Le taux de germination des grains de pollen conservé au bout de trois (3) mois à la température de 3 °C et récolté entre 9 h et 12 h a été influencé par la concentration en saccharose (Figure 24). Les taux de germination du grain de pollen étaient compris entre 15 % et 97 %. Une concentration de saccharose de 25 g/L dans le milieu de culture a donné le taux de germination le plus élevé (97 %). Par conséquent, la concentration de 25 g/L de saccharose a été utilisée pour les expériences ultérieures.

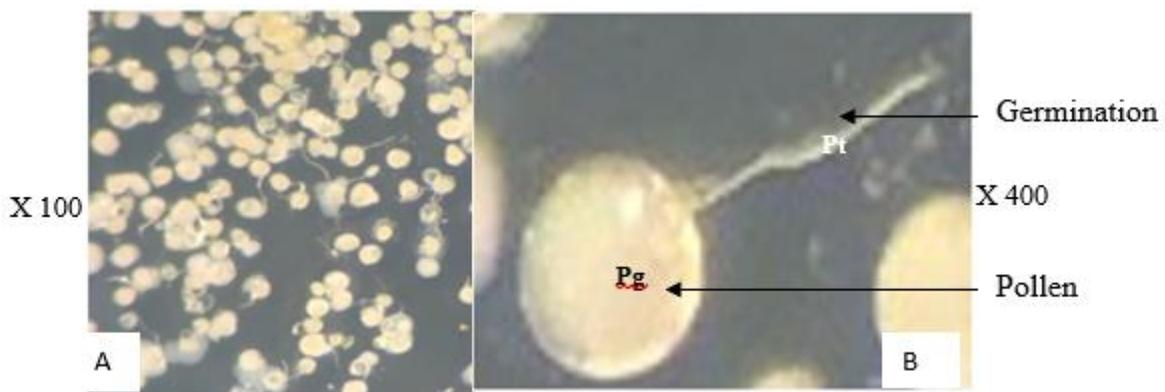
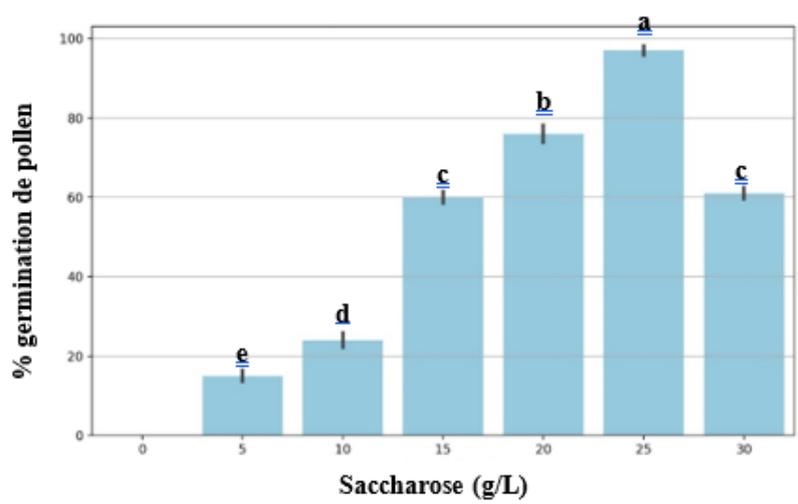


Figure 21: Germination *in vitro* de grains de pollen de maïs, grain de pollen de EV8728
 A : Grains de pollen germé ; B : Germination du grain de pollen avec présentation du tube pollinique ; Pg : Pollen germé , Pt : Tube pollinique

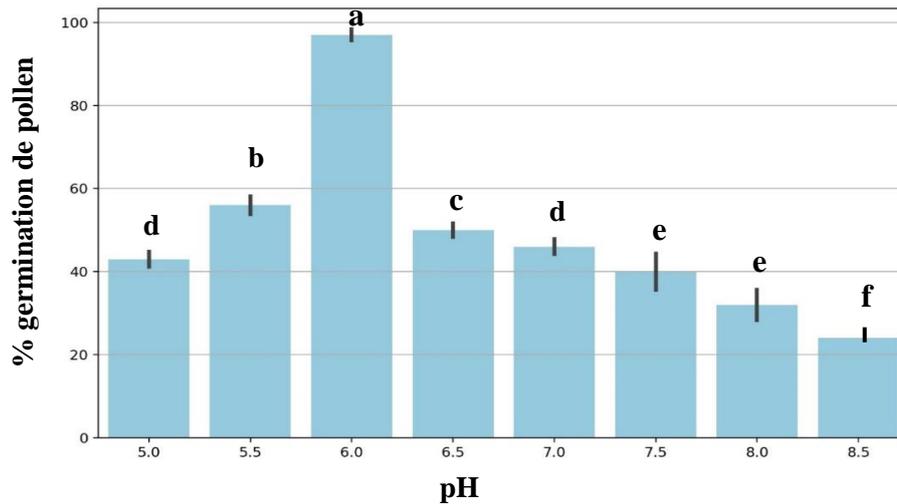


Les histogrammes avec les mêmes lettres alphabétiques sont statistiquement identiques.

Figure 22 : Influence de la concentration de saccharose sur la germination *in vitro* des grains de pollen de EV8728 non irradié

2.4- Effet du pH sur la germination *in vitro* des grains de pollen

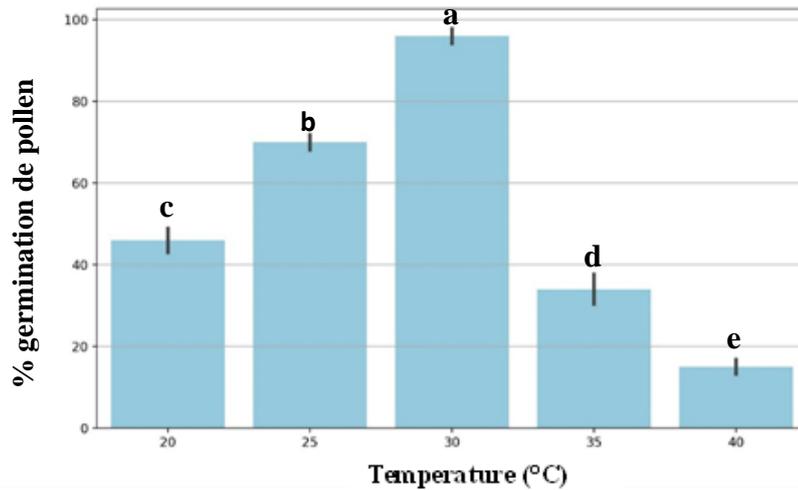
L'impact de divers pH sur la germination des grains de pollen a été étudié. Les variations de pH ont eu un impact significatif ($P < 0,05$) sur la germination (Figure 25). Le taux le plus élevé de germination (97 %) a été observé dans un environnement à pH 6 (acide), tandis que le taux le plus bas (24 %) a été noté dans un environnement à pH 8,5 (basique).



Les histogrammes avec les mêmes lettres alphabétiques sont statistiquement significativement différents ($P < 0,05$).
Figure 23 : Effet du pH sur la germination *in vitro* des grains de pollen de EV8728 non irradié

2.5- Effet de la température d'incubation sur la germination *in vitro* des grains de pollen

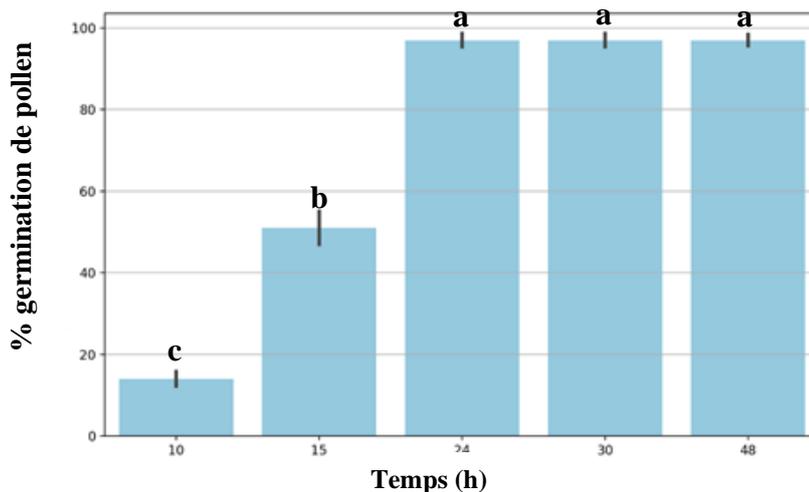
La germination *in vitro* des grains de grain de grain de pollen a été optimisée grâce à des essais d'incubation, avec des milieux de germination à différentes températures (Figure 26). Lorsque la température d'incubation est passée de 20 °C à 30 °C, le taux de germination des grains de pollen a augmenté de 46 % à 96 %. Le taux de germination optimal (96 %) a été observé à une température de 30 °C. En dépassant cette température optimale, il a été constaté une baisse du taux de germination, qui a atteint sa valeur la plus faible (15 %) à 40 °C.



Les histogrammes avec les mêmes lettres alphabétiques sont statistiquement identiques
 Figure 24 : Influence de la température d'incubation sur la germination *in vitro* des grains de pollen de EV8728 non irradié

2.6- Effet de la durée d'incubation sur la germination du grain de pollen

La germination du grain de pollen a été optimale après 24 heures d'incubation (Figure 27), atteignant un taux de 97 %. Des durées d'incubation plus courtes ont entraîné une diminution du taux de germination.



Les histogrammes avec les mêmes lettres alphabétiques sont statistiquement identiques
 Figure 25 : Capacité de germination du grain pollen de EV8728 non irradié en fonction du temps d'incubation

2.7- Discussion

Les différentes conditions de conservation pour la viabilité du pollen en vue d'initier l'androgénèse ont été étudiées. Selon Charrier (1986), la conservation du grain de pollen vise à préserver, sur une longue période, la capacité de féconder et de générer une descendance viable. Dans cette optique, il est crucial de connaître le moment de la collecte, la température et la durée de conservation afin de préserver la viabilité du grain de pollen.

➤ Effet de la température et de la durée de stockage sur la viabilité des grains de pollen

Les résultats obtenus ont révélé des variations significatives de la viabilité du grain de pollen sur une période de trois mois. En effet, le taux de viabilité des grains de grain de pollen collectés entre 9 h et 11 h était élevé, indépendamment de la durée de conservation et de la température. En revanche, le grain de pollen collecté après 11 heures, présentait un taux de viabilité inférieur, en particulier, durant les heures les plus chaudes de la journée, c'est-à-dire entre 12 h et 15 h. Ces observations suggèrent que la viabilité du grain de pollen, est optimale lorsqu'il est récolté le matin, ce qui induit une capacité de germination élevée. De plus, selon Fonseca & Westgate (2005), il a été constaté que le vieillissement d'un échantillon de grain de pollen est étroitement lié à sa teneur en eau moyenne. Bien qu'il soit difficile de fournir une valeur précise, la teneur en eau du grain de pollen frais varie, généralement, entre 10 et 30 %. Cependant, après une augmentation de la température, cette teneur peut diminuer à moins de 10 %, améliorant, ainsi, la conservation. Par ailleurs, Iovane & Aronne (2022) affirment qu'une élévation progressive de la température ambiante, tout au long de la journée, entraîne une déshydratation du grain de pollen, ce qui conduit à une diminution de sa viabilité entre 12 h et 15 h. Ces résultats corroborent ceux de Veiga *et al.* (2012), qui ont observés des taux de germination significativement plus élevés chez le grain de pollen de maïs récolté le matin ($85 \pm 5 \%$) par rapport à celui collecté l'après-midi ($62 \pm 7 \%$). Cette différence peut s'expliquer par une teneur en eau plus élevée du grain de pollen le matin, ce qui favorise sa viabilité.

En étudiant l'impact des basses températures sur la capacité des grains de grain de pollen à maintenir leur pouvoir germinatif, il a été constaté que le taux de viabilité était de 98 % à 3 °C et de 80 % à -26 °C, après un mois d'incubation. Il est, donc, préférable de maintenir la viabilité des grains de grain de pollen de maïs à une température de 3 °C. Il est possible que cela soit dû au fait qu'à cette température, le contenu cytoplasmique n'est pas gelé. Ainsi, les réactions enzymatiques indispensables au bon fonctionnement de la cellule sont toujours en

cours, ce qui permet aux molécules à l'intérieur de la cellule d'être en constante agitation, se déplaçant d'un endroit à un autre. Cette mobilité est essentielle pour que les molécules puissent se rencontrer et interagir entre elles, permettant ainsi toutes les réactions chimiques nécessaires à la vie de la cellule dans le cytoplasme. En revanche, lorsque le contenu cytoplasmique est porté à -26 °C, cela inhibe certaines réactions et entraîne la formation de cristaux de glace capables d'endommager les cellules. Pour Colas *et al.* (2000), il a été démontré que la température de stockage de l'épicéa noir est idéale entre 3 et 8 °C. Selon Buitink *et al.* (2000), il a été démontré que les températures basses diminuent la mobilité moléculaire dans le cytoplasme, ce qui peut jouer un rôle crucial dans la longévité. Il a été, également, mentionné par Bramlett & Matthews (1991) que la conservation du grain de pollen est fragile en dessous de -20 °C.

Les résultats obtenus indiquent que le grain de pollen conservé à des températures de 3 °C et -26 °C reste viable pendant une période restreinte. D'après Hanna & Towill (1995), il est possible de conserver le pollen de plusieurs espèces à court terme à des températures allant de 4 °C à -20 °C. Néanmoins, le grain de grain de pollen sec, conservé à une température comprise entre 4 °C et -20 °C conserve sa viabilité de quelques jours à un an, ce qui est adéquat pour son utilisation dans les programmes de sélection. En effet, en milieu naturel, la durée de vie d'un grain de pollen peut varier considérablement, allant de quelques heures à 24 heures, pour les graminées, comme le maïs ou le blé, et pouvant atteindre plusieurs semaines, selon les conditions environnementales telles que la température, l'humidité relative, la présence de vent et la lumière. La pérennité du grain de pollen de maïs dépend de multiples facteurs, notamment, sa teneur en eau, la température, le taux d'oxygène et le milieu de stockage, comme, le soulignent Buitink *et al.* (2000). Un suivi rigoureux des échantillons est essentiel pour optimiser les conditions de conservation. De plus, peu importe la température de stockage, la période de collecte du grain de pollen a un impact important sur le taux de viabilité.

➤ **Influence de la concentration de saccharose sur la germination *in vitro* de grain de pollen de maïs**

Le succès des programmes de sélection repose sur la germination du grain de pollen. Dans cette optique, la combinaison la plus appropriée pour cette étude a été le milieu de germination *in vitro*, contenant 25 g/L de saccharose et ajusté à pH 6, incubé à une température de 30 °C pendant 24 heures. La présence de 25 g/L de saccharose dans le milieu a favorisé la germination de 97 % du grain de pollen. Les résultats obtenus par Younbi *et al.* (2009), pour

le grain de pollen de *Pachypodium lameiri* et *Catharanthus roseus*, confirment cette forte germination du grain de pollen. Selon ces auteurs, le sucre est essentiel pour la germination des grains de grain de pollen et sa concentration diffère entre les espèces d'une même famille et entre les taxons, appartenant à des familles différentes.

Le sucre joue un rôle osmotique vital en maintenant la pression de turgescence, en prévenant l'éclatement, en fournissant de l'énergie et en régulant l'hydratation pendant la germination du grain de pollen. Une concentration optimale en sucre est donc essentielle pour une germination réussie du tube pollinique (Youmbi *et al.*, 2009).

➤ **Influence du pH sur la germination *in vitro* des grains de pollen**

Le pH joue, aussi, un rôle crucial dans l'amélioration de l'environnement de germination. Dans cette recherche, un pH de 6 a été employé, afin d'améliorer la germination *in vitro* des grains de grain de pollen. D'après Youmbi *et al.* (2009), le pH est un facteur déterminant pour la germination du grain de pollen, influençant la viabilité, l'hydratation, la croissance du tube pollinique, l'activité enzymatique et les interactions avec le pistil. Un pH optimal est donc essentiel pour une germination réussie et une fécondation efficace. Dans cette étude, le pH 6 a significativement influencé la germination du grain de pollen. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Munzuroglu *et al.* (2003) qui soulignent l'importance critique du pH dans la régulation de nombreux processus biologiques essentiels à la germination, tels que la dégradation de la paroi pollinique, l'élongation du tube pollinique et le métabolisme énergétique. Il a été démontré que le pH 6 avait une interaction efficace avec la composition du milieu (nutriments), ce qui a favorisé un taux plus élevé de germination du grain de pollen.

➤ **Influence de la température d'incubation sur la germination *in vitro* du grain de pollen**

En outre, le niveau de température d'incubation du milieu de culture est essentiel pour stimuler le métabolisme du grain de grain de pollen. Une température idéale stimule les réactions enzymatiques et les mécanismes métaboliques qui contribuent à la germination du tube pollinique (Liu *et al.*, 2023). Les résultats enregistrés dans la présente étude sont en accord avec ceux de Liu *et al.* (2023), qui ont rapportés des taux de germination élevés entre 25 et 30 °C, pendant leurs travaux. L'activation des processus enzymatiques et métaboliques dans les grains de pollen a été intensément stimulée par la température élevée (30 °C), ce qui a permis d'atteindre un taux de germination maximal de 97 %. Chaque espèce végétale possède une

température optimale pour la germination du grain de pollen, généralement située entre 20 et 30 °C, bien que cette fourchette puisse varier selon les espèces. Dans cette gamme de température, les processus métaboliques nécessaires à la germination sont les plus efficaces. En revanche, des températures trop basses peuvent ralentir ou inhiber la germination, affectant la croissance du tube pollinique et diminuant les chances de fécondation, tout en réduisant la viabilité du grain de pollen et en augmentant le risque de dommages cellulaires. De même, des températures trop élevées peuvent inhiber la germination et la croissance du tube, dénaturer des protéines essentielles et accroître le stress oxydatif, ce qui compromet également la viabilité du grain de pollen. Ainsi, pour les études *in vitro* sur la germination du grain de pollen, il est crucial de contrôler rigoureusement la température d'incubation, en déterminant la température optimale pour chaque espèce afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles. Nos résultats concordent avec ceux de Naveed *et al.* (2014), qui ont montré que la viabilité et la germination du grain de pollen sont très sensibles au stress thermique et sont fortement affectées par des températures élevées pendant de longues durées ou des températures extrêmes pendant de courtes durées.

➤ **Influence de la durée d'incubation sur la germination du grain de pollen**

La germination est facile pour la plupart des grains de pollens après 24 heures, mais elle est faible en dessous de 24 heures. Chaque espèce végétale possède une durée d'incubation optimale pour la germination du pollen, qui peut varier de quelques heures à plusieurs jours selon les espèces. Pendant cette période, les processus métaboliques nécessaires à la germination sont les plus efficaces. Une durée d'incubation trop courte peut entraîner une germination incomplète, empêchant le tube pollinique de se développer suffisamment pour atteindre l'ovule, ce qui réduit les chances de fécondation et affecte la viabilité du grain de pollen ainsi que la production de graines et de fruits. À l'inverse, une durée d'incubation trop longue peut provoquer la dégradation du grain de pollen, épuisant ses réserves nutritives et diminuant sa viabilité, tout en augmentant le risque de contamination par des micro-organismes. Ainsi, pour les études *in vitro* sur la germination du grain de pollen, il est indispensable de déterminer la durée optimale pour chaque espèce afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles. Les résultats de cette étude ont montré qu'une incubation prolongée, de l'ordre de 10 à 15 heures, n'induit pas la germination du grain de pollen. Une courte durée semble compromettre sa capacité à germer. Selon Verdeil *et al.* (1990), la réhydratation du grain de pollen avec de l'eau gazeuse ou un substrat semi-solide améliore sa germination après

une conservation prolongée, ce qui confirme les résultats. D'après ces auteurs, le grain de pollen (organe de dissémination à vie lente) est réhydraté, ce qui entraîne une réponse métabolique où les échanges gazeux (respiration) jouent un rôle important. Il semblerait que les mécanismes métaboliques, tels que la respiration cellulaire et la production de protéines, demandaient une durée d'activation de 24 heures. Une fois cette période terminée, ces processus reprennent leur marche, ce qui permet l'éjection du grain de pollen du tube pollinique (Verdeil *et al.*, 1990).

2.8-Conclusion partielle

La viabilité et la qualité reproductrice du pollen de maïs (*Zea mays* L.) provenant de EV8728 dépendent de la méthode de stockage et de la période de récolte. Les variations de la température de stockage du pollen ont affecté de manière significative la viabilité du pollen. Une température de 3 °C a induit les taux de viabilité les plus élevés. Outre l'influence des variations de température, la période de stockage d'un mois et la période de collecte quotidienne du pollen de 9 h à 11 h ont augmenté les taux de viabilité du pollen. En revanche, le pollen collecté entre 11 h et 16 h présentait les taux de viabilité les plus faibles. Cette étude sur les grains de pollen de maïs met en évidence les caractéristiques qui les rendent sensibles à la conservation. Ces résultats sont corroborés par le fait que 97 % du potentiel germinatif ont été conservés après 1 mois de stockage à 3 °C. Cette excellente conservation a été évaluée sur un milieu de culture gélosé (gelrite) riche en sucres (25 g/L de saccharose) et contenant les sels minéraux essentiels à la germination du pollen notamment du sulfate de magnésium (2 g/L), du nitrate de potassium (1 g/L) et du nitrate de calcium (3 g/L). Le pH du milieu a été ajusté à 6 pour optimiser la germination pendant que l'incubation a été réalisée à l'obscurité à 30 °C durant 24 heures.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

En Côte d'Ivoire, le maïs occupe la deuxième position parmi les céréales les plus consommées, juste après le riz. L'étude menée à l'Université Jean LOROUGNON GUÉDÉ avait pour objectif général l'amélioration de la productivité du maïs en Côte d'Ivoire en utilisant deux techniques différentes : l'irradiation gamma pour la caractérisation agromorphologique et initiation à l'androgénèse.

Dans un premier temps, une comparaison entre les lignées a été réalisée pour mettre en évidence leurs caractéristiques agronomiques. Les résultats ont montré une grande variabilité tant au niveau de la morphologie que de l'agronomie entre les différentes lignées étudiées.

Dès le stade de la levée, des taux plus élevés ont été observés dans les lignées irradiées, en particulier la lignée L73_{D300}, par rapport au témoin. La surface foliaire et les indices de sensibilité à la verse ont été dominés par les lignées L36_{D300} ; L80_{D300} L94_{D200} et L104_{D200}. Par ailleurs, l'étude agronomique a permis de regrouper les lignées en quatre groupes homogènes. Le groupe 1 (G1) était constitué de la lignée L36_{D300}, caractérisée par des plantes à rendement élevé et des épis long avec ou sans spathes. Le groupe 2 (G2) comprenait les lignées L04_{D200}, L27_{D200}, L46_{D300}, L72_{D300} et L93_{D200}, qui présentaient un faible nombre de grains par épi, des épis de petite taille, un faible diamètre d'épi, des graines légères et un cycle de croissance long. Le groupe 3 (G3) regroupait les lignées L73_{D300}, L77_{D300}, L80_{D300}, L87_{D200}, L94_{D200} et L104_{D200}, caractérisées par des plantes à épi long, et de masse élevée. Enfin, le groupe 4 était composé des lignées L08_{D200}, L103_{D200} et du témoin T0_{D0}, présentant des épis de faible diamètre.

L'étude a mis en évidence une grande variabilité phénotypique au sein des lignées irradiées et l'analyse des groupes homogènes a permis de révéler des combinaisons intéressantes de caractères. En effet, certains groupes se sont distingués par leur haut potentiel de rendement (G1), d'autres par leur long cycle de croissance (G2), pendant que le groupe 3 a présenté des épis longs et des graines de masse élevée (G3). Les différentes doses d'irradiation utilisées ont provoqué des différences morphologiques et de production entre les lignées. Le potentiel agronomique des lignées irradiées avec la dose 1 (300 grays) a été élevé, avec une production supérieure par rapport à la dose de 200 grays et au témoin.

En outre, la lignée qui semble être la mieux appropriée pour le programme de sélection est la lignée L36_{D300}, par sa capacité à produire plus que le témoin EV8728 non irradié. Ces

résultats soulignent l'intérêt de l'irradiation pour induire une variabilité génétique et créer de nouvelles variétés adaptées à différents objectifs de sélection.

Bien que l'autofécondation soit une méthode traditionnelle, elle présente l'inconvénient d'allonger considérablement la durée de sélection. Pour pallier cet obstacle, la technique de la viabilité et la méthode de germination *in vitro* afin mettre en place le programme de sélection par androgenèse est couramment utilisée, permettant ainsi d'accélérer significativement le processus de sélection.

Pour amorcer le processus d'androgenèse, une analyse préliminaire des microspores s'est avérée essentielle. Cette étude des microspores du grain de pollen de maïs (*Zea mays* L.) issu de la variété EV8728 non irradié visait à comparer la méthode classique de sélection à l'approche *in vitro* (d'androgenèse). Elle a mis en évidence l'importance de la méthode de stockage et de la période de récolte sur la qualité reproductive et la viabilité du grain de pollen. Les résultats ont montré que les variations de température de stockage du grain de pollen avaient un impact significatif sur sa viabilité, avec les taux les plus élevés observés à une température de 3 °C. De plus, une période de stockage d'un mois et une collecte quotidienne du grain de pollen entre 9 h et 11 h favorisaient également une meilleure viabilité du grain de pollen. En revanche, les grains de pollen collecté entre 11 h et 16 h présentaient des taux de viabilité plus faibles. Ces résultats soulignent les caractéristiques sensibles du grain de pollen de maïs en matière de conservation. Après un mois de stockage à 3 °C, 97 % du potentiel germinatif du grain de pollen a été conservé. Les tests de potentiel germinatif ont été réalisés en utilisant un milieu spécifique, et les conditions d'incubation ont été contrôlées. En optimisant la période de récolte et les conditions de stockage des grains de pollen, cette étude a jeté les bases d'expérimentations d'androgenèse. Les tests de coloration ont permis de valider la viabilité pollinique, un prérequis indispensable à la réussite de cette technique de multiplication végétative. L'ensemble des résultats obtenus des travaux montrent que les deux méthodes utilisées ont démontré leur efficacité. Cependant, la technique d'irradiation se profile comme la plus pertinente pour la création de nouvelles variétés.

A la Communauté scientifique, nous recommandons notre protocole de collecte de grains de pollen et de germination mis en place à l'Université Jean Lorougnon Guédé. A la Filière semence, nous recommandons la lignée L36 qui a enregistré les meilleures performances agronomiques.

Au niveau des perspectives, il serait souhaitable de poursuivre ce travail par :

- la caractérisation biochimique des lignées obtenues en vue d'identifier les usages appropriés ;
- l'étude de la résistance aux maladies et aux ravageurs des lignées développées afin de contribuer à la sécurité alimentaire;
- la mise au point de protocole de production de plants haploïdes via la méthode *in vivo*.

Tous ces acquis permettront de mettre au point des variétés de maïs de qualité à haut rendement et résistant aux conditions pédoclimatiques de la Côte d'Ivoire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES

- Abdul M., Asif U.R.K., Habib A. & Zahir M. (2010). Gamma irradiation effects on some growth parameters of *Lepidium sativum* L. *Agriculture Biological Science*, 5(1): 39-42.
- Abdelhameed A.A., Ali M., Darwish D.B.E., AlShaqhaa M.A., Selim D.A.F.H., Nagah A. & Zayed M. (2024). Induced genetic diversity through mutagenesis in wheat gene pool and significant use of SCoT markers to underpin key agronomic traits. *BMC Plant Biology*, 24(1), 673- 688.
- Abdulmumeen H.A., Risikat A.N. & Sururah A.R. (2012). Food Its preservatives, additives and applications. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 1 : 36-47.
- Adjiba S.T.C., Tovihoudji P.G., Ollabode N., Aihounton G.B., Irenikatche P.B & Yabi J.A. (2021). Analyse financere de la production du maïs sous differentes pratiques de gestion de la fertilité des sols au nord benin. *Agronomie Africaine*, 33 (3) : 383 – 395.
- Akanvou L., Akanvou R. & Toto K. (2006). Effets des variétés de maïs et de légumineuses dans la lutte contre *Striga hermontica* en zone de savane en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18 (1) : 13-21.
- Akanvou L., Akanvou R., Kouakou C.K., N'da H.A. & Koffi K.G.C. (2012). Évaluation de la diversité agromorphologique des accessions de mil (*Pennisetum glaucum* L. R.Br.). *Journal of Applied Biosciences*, 50: 3468-3477.
- Althiab A.R., Teyssier E., Chervin C., Johnson M.A. & Mollet J.C. (2024). Pollen viability, longevity, and function in angiosperms : Key drivers and prospects for improvement. *Plant Reproduction*, 37(3) : 273-293.
- Amani N.R. (2019). Maize storage pest management practices in Côte d'Ivoire : a case study of three agro-ecological zones. *Journal of Stored Products Research*, 83 : 20-26.
- Amini M. & Benson J.D. (2023). Technologies for vitrification based cryopreservation. *Bioengineering*, 10(5) :508-540.
- Amri T.W. (2020). Induction de la variabilité génétique par radio-mutagenèse (rayons gamma) chez le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) et évaluation agronomique et génétique (Low-Cost TILLING) de mutants en M2. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences Agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El- Harrach, Alger (Algérie), 160 p.

- Andrew R. L., Wallis I. R., Harwood C.E., Henson M. & Foley W.J. (2007). Heritable variation in the foliar secondary metabolite sideroxydonal in *Eucalyptus* confers cross-resistance to herbivores. *Oecologia*, 153(4): 891-901.
- Angevin F., Klein E.K., Choimet C., Gauffreteau A., Lavigne C., Messean A. & Meynard J.M. (2008). Modelling impacts of cropping systems and climate on maize crosspollination in agricultural landscapes: The MAPOD model. *European Journal of Agronomy*, 28(3) : 471-484.
- Anonyme (2018). Action du froid sur la biologie et la conservation du pollen allergisant de différentes variétés de *Dactylis glomerata* L. (Gramineae). Disponible en ligne sur le site : [www.Société botanique de France 1990 -ISSN 0181 • 1789](http://www.Société_botanique_de_France_1990_-ISSN_0181_1789). 16/04/2024.
- Ashok P. & Upadhyaya K. (2015). Health benefits of maize. *Indian Journal of Nutrition*, 2(2): 1-5.
- Ascari L., Novara C., Dusio V., Oddi L. & Siniscalco C. (2020) Quantitative methods in microscopy to assess pollen viability in different plant taxa. *Plant Reproduction*, 33(4) : 205-219.
- Ashrafuzzaman M. (2024). The Impact of Cloud-Based Management Information Systems On HRM Efficiency : An Analysis of Small And Medium-Sized Enterprises (SMEs). *Academic Journal on Artificial Intelligence, Machine Learning, Data Science and Management Information Systems*, 1(01), 40-56.
- Banerjee S., Kund A. & Dhak P. (2022). Bioremediation of uranium from waste effluents using novel biosorbents : a review. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 331(6) : 2409-2435.
- Barrière Y.Y. (2020). Le maïs et l'eau : une situation aujourd'hui paradoxale, mais des progrès génétiques à attendre d'un idéotype redéfini. *Hal inrea*, 168 : 477-489.
- Barnabas B., Szak E., Karsai I. & Bedö Z. (2001). *In vitro* androgenesis of wheat: from fundamentals to practical application. *Euphytica*, 119 : 211-216.
- Bassaler N. (2000). Le maïs et ses avenir. *Cahier N° 13 publié par le GERPA avec le concours d'Electricité de France*, Mission Prospective, 47 p.
- Bassetti P. & Westgate M.E. (1993). Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Science*, 33(2) : 279-282.
- Bassetti P. & Westgate M.E. (1994). Floral asynchrony and kernel set in maize Quantified by Image-Analysis. *Agronomy Journal*, 86(4): 699-703.

- Bazoumana K., Ouoa T., Déhou D. & Prosper N.Z. (2009). Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans cultureux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnologie Agronomie, Société et Environnement*, ISSN : 1370-6233.
- Bechoux N., Bernie G. & Lejeune P. (2000). Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize (*Zea mays* L.). *Plant Cell and Environment*, 23(1): 91-98.
- Bell R., Thornber J., Seet. J. & Groves. M. (1983). Composition and protein quality of honeybee collected pollen of *Eucalyptus marginata* and *Eucalyptus calophylla*. *Journal of Nutrition*, 113 : 2479-2484.
- Benmahammed A, Kribaa M. & Boumezou H. (2010). Évaluation de la tolérance au stress de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) de lignées de sélection avancées dans des conditions semi-arides des hauts plateaux de l'Est de l'Algérie. *Euphytica*, 172: 383-394.
- Benson E.E. (2008). Cryopreservation of phytodiversity : a critical appraisal of theory & practice. *Critical reviews in Plant sciences*, 27(3) : 141-219.
- Bhaskara G.B. (2017). Basic principles and recent advances in anther/pollen culture for crop improvement. *Plant Biotechnology*, 1 : 87-123.
- Bhupinder S. & Datta P.S. (2010). Gamma irradiation to improve plant vigour, grain development, and yield attributes of wheat. *Radiation Physics and Chemistry*, 79(2) : 139-143.
- Boone J. (2008). Les sols de la Côte d'Ivoire. In *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM*, 50, Paris (France) : 269-389.
- Bordes J. (2006). Création de lignées haploïdes doublées de maïs par gynogenèse induite in situ : amélioration de la méthode et intégration dans les schémas de sélection. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de la vie et de la santé, Université Blaise Pascal, Auvergne, France, 133 p.
- Bouagnimbeck H. & Ssebunya B. (2021). Manuel de formation en agriculture biologique pour l'Afrique. Rapport GIZ, Suisse, 23 p.
- Bouchoukh I. (2019). Méthodes de création de variétés et de sélection. Biologie et Physiologie Végétale, Cours de Master 2, Université Frères Mentouri- Constantine (Alger, Algérie), 43 p.
- Boukar O., Togola A., Belko N., Chamarthi S.K., Fatokun C., Tamo M. & Oigiangbe N. (2017). Résistance des plantes hôtes aux insectes ravageurs du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) : acquis et perspectives d'avenir. *Revue des sciences appliquées*, 49(4) : 287-291.

- Brett H., Ferrie A.M. R., Sreekala C., Pon S.J. & Gregory C.P. (2022). Androgenesis-Based Doubled Haploidy : Past, Present, and Future Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 12 : 1-15.
- Bramlett D.L. & Matthews F.R. (1991). Storing loblolly pine pollen. *Southern Journal*, 15(3) :153-157.
- Buitink J., Leprince O., Hemminga M.A. & Hoekstra F.A. (2000). Les effets de l'humidité et de la température sur la cinétique de vieillissement du pollen : interpretation basée sur la mobilité cytoplasmique. *Usine et Environnement*, 23: 967-974.
- Campos R., Bogdanov S., Almeida-Muradian L.B., SzczesnaT., Mencebo. Y., Frigerio C. & Ferreira F. (2008). Pollen composition and standardisation of analytical methods. *Journal of Apiculture Research*, 47: 156 -163.
- Carraretto M. (2005). Histoire de maïs d'une divinité Amérindienne à ses avatars transgéniques C.T.H.S *Fondation Springer Poulignac*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 56 p.
- Cecilio M.C. (2021). Dimensions de la diversité des maïs indigènes au Mexique. *Open edition*, 2 : 59-69.
- Cinyabuguma L.E., Mendje M., Gisel A.M., Batumike R., Baderhekuguma X., Kashosi N.M.T., Kashema B. & Musimwa K. (2018). Evaluation of the growth and performance of some of the maize variety in introduction in the ecology of mulungu. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 9(8): 229-231.
- Charpin C. (2004). Les pollens, les pollinoses et autres maladies respiratoires allergiques, *service pneumo-allergologie de l'hôpital Nord*, France, 10 p.
- Charrier A. (1986). Pollen et ressources génétiques. Bureau des ressources génétiques - MRT, Paris ORSTOM, F-34032. *Bulletin de la Société Botanique de France*, Montpellier, France, 137 : 101 -104.
- Chausat B. (2005). L'importance du pollen pour l'abeille domestique. *Bulletin Technique Apicole*, 32 (1) : 11-17.
- Chen D., Molitor A., Liu C. & Shen, W.H. (2010). The Arabidopsis PRC1- like ring-finger proteins are necessary for repression of embryonic traits during vegetative growth. *Cell Research*, 20 : 1332-1344.
- Chen J.F., Cui L., Malik A.A. & Mbira K.G. (2011). *In vitro* haploid and dihaploid production via unfertilized ovule culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture. (PCTOC)*, 104(3): 311-319.

- Chen Z. & Gallavotti A. (2021). Improving architectural traits of maize inflorescences. *Molecular Breeding*, 41(1): 21-33
- Chenal C., Legue F., Nourgalieva K., Brouazin J.V., Durel S. & Guitton N. (2000). Exposition of human to low doses and low dose rate irradiation: an urgent need for new markers and new models. *Radiation Biology and Radioecology*, 40:627-629.
- Chen Z., Li P., Lyu, Y., Wang Y., Gao K., Wang J. & Chen F. (2023). Molecular genetics and general management of androgen insensitivity syndrome. *Intractable & Rare Diseases Research*, 12(2) : 71-77.
- Cherbulier T. (2001). CD - ROM. Apithérapie. Commission d'Apithérapie d'Apimondia, 15 p.
- Clement H. (2002). Le traité Rustica de l'apiculture. *Edition Rustica*. Paris, France. 560 p .
- CNRA (2006). Bien cultiver le maïs en Côte d'Ivoire. CNRA, 4 p.
- Colas F., Mercier S. (2000). Evaluation du maintien de la viabilité des pollens utilisés dans le programme amelioration des arbres. Mémoire de recherche forestière n° 135, Québec, Canada, 98 p.
- Conner J.A., Podio M. & Ozias-Akins P. (2017). Haploid embryo production in rice and maize induced by PsASGR-BBML transgenes. *Plant Reproduction*, 30:41-52.
- Corral-Martínez P., Siemons C., Horstman A., Angenent G. C., de Ruijter N. & Boutilier K. (2020). Live Imaging of embryogenic structures in Brassica napus microspore embryo cultures highlights the developmental plasticity of induced totipotent cells. *Plant Reproduction*, 33 :143-158.
- Culligan K.M., Robertson C.E., Foreman J., Doerner P. & Britt A.B. (2006). ATR and ATM play both distinct and additive roles in response to ionising radiation. *The Plant*, 48 : 947-961.
- CUSSTR (2005). Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, Rayonnements ionisants, version1, Genève, Suisse, 24 p.
- Custodio L., Filomena M.C. & Romano N. (2005). Microsporogenesis and anther culture in carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). *Scientia Horticulturae*, 104: 65-77.
- Dahl A., Galán C., Hajkova L., Pauling A., Sikoparija B., Smith M. & Vokou D. (2013). The onset, course and intensity of the pollen season. *In : Allergenic pollen : A review of the production, release distribution and health impacts*. Edition, Sofiev, Mikhail and Bergmann, Karl-Christian, Heidelberg (Netherlands) : 29-70.
- Dar J.A., Kareem M., Zargar S.M., Wani A.A., Rasool S & Bhat K.A. (2020). Strategies for conservation of genetic resources. *In : Rediscovery of genetic and genomic*

- resources for future food security. Edition, Romesh K.S., Sajad M. Z. Singapour (Singapour) : 315-334.
- Declert C. (1990). Manuel de phytopathologie maraîchère tropicale : cultures de Côte d'Ivoire. Rapport final, 333 p.
- Deffan K.P., Akanvou L., Akanvou R., Nemlin G.J. & Kouame P.L. (2015). Evaluation Morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorés de maïs (*Zea mays* L.) produites en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 11(3) : 181-196.
- Dellinger A. S. (2020). Pollination syndromes in the 21st century: where do we stand and where may we go? *New Phytologist*, 228(4) : 1193-1213.
- Demeulenaere E. & Goldringer I. (2017). Semences et transition agroécologie : initiatives paysannes et sélection participative comme innovations de rupture. *Natures Sciences Sociétés*, 25 : 55 - 59.
- Demont M. (1997). Système de commercialisation des produits vivriers en Côte d'Ivoire : Étude pour le maïs (*Zea mays* L) et l'arachide (*Arachis hypogaea*). Institut Des Savanes, Département Cultures Vivrières, Côte d'Ivoire, 55 p.
- Deivanai S., Sng B.J.R., Van Vu K., Shibu T.S.M., Jang I.C. & Ramachandran S. (2023). EMS-induced mutagenesis in Choy sum (*Brassica chinensis* var. *parachinensis*) and selection for low light tolerance using abiotic stress indices. *BMC Plant Biology*, 23(1) : 581-704.
- Doebley J., Adrian S. & Hubbard L. (1980a). The evolution of apical dominance in maize. *Nature*, 386: 485-488.
- Doebley J.F. & Iltis H.H. (1980). Taxonomy of *Zea* (Graminae). I. Subspecific classification with key to taxa. *American Journal of Botany*, 67 : 986-983.
- Doebley J. (2004). The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics*, 38: 37-59.
- Donadieu A. (1982). Le Pollen. *Édition, 5 Maloine*, Paris, France, 55 p.
- Donadieu Y. (2004). Le pollen, Les thérapeutiques naturelles. *Édition, 5 Maloine*, Paris, France, 28 p.
- Donner J., Heidi A., Stephen D., Angela M.H., Bouirman J., Lindqvist J., Katherine M.L., Ganesan B, Claudia Ottka, Ruotanen P., Kaukonen M, Forman O.P., Neale F., Cole C.A. & Lohi H. (2019). Correction : Frequency and distribution of 152 genetic disease variants in over 100,000 mixed breed and purebred dogs. *PLoS Genetics*, 14(4) : 1-15.

- Dossa J.S.B., Togbe E.C., Pernaci, M., Agbossou E.K., & Ahohuendo B.C. (2019). Effet des facteurs de l'environnement sur les *Fusarium* pathogènes des plantes cultivées. *International Journal of Biological and Chimical sciences*, 13(1) : 493-502.
- Dresselhaus T, Sprunck S. & Wessel G.M. (2016). Fertilization Mechanisms in Flowering Plants. *Current Biology*, 26(3) :125-39.
- Drouet J.L. & Moulia D. (1997). Réorientation spatiale des feuilles de maïs affectées par l'orientation et la densité initiales des plantes. *Météorologie Agricole et Forestière*, 88 (4) 85-100.
- Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud R.C. & Berthier A.M. (1992). Alimentation et nutrition humaine. ESF éditeur, Paris, France, 153 p.
- Duquef Y., Vidal E., Colindre L., Conrad L., Delasalle J.F., Derozier C. & Sinnaeve T. (2023). Diversités des arthropodes en agriculture biologique - Diagnostics des infrastructures agroécologiques de 7 exploitations. BIO en Hauts-de-France & Association des Entomologistes de Picardie, France, 48 p.
- Edwards C., Shah S. A., Gebhardt T. & Jewell CM. (2023). Exploiting unique features of microneedles to modulate immunity. *Advanced Materials*, 35(52) : 1-35.
- Eldin M. (1971). Le climat. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer*, 50, Paris, France : 73-108.
- FAO (1993). Le maïs dans la nutrition humaine (Collection FAO : Alimentation et nutrition n° 25) ISBN 92-5-203013-1. <http://www.fao.org/>. Consulté le 10/05/2022.
- Fao-stat (2008). Cultures annuelles, Rapport final, FAO, 40 p.
- Fao-stat (2015). Cultures annuelles, Rapport final, FAO, 56 p.
- Fao-stat (2018). Cultures annuelles, Rapport final, FAO, 46 p.
- Fao-stat (2020). Agricultural production, cropprimarydatabase. Food and agricultural organization of the United Nations, Rome. <http://faostat.fao.org/faostat/>. Consulté le 20/05/2022.
- Fao-stat (2022). Cultures annuelles, Rapport final, FAO, 50 p.
- Fao-stat (2023)
- Farahani H. Wagiran R. & Hamid M.N. (2014). Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review. *Sensors*, 14: 7881-7939.
- Fernández L.Á., Belmonte J., Boada, M. & Fraixeda S. (2014). Airborne pollen records and their potential applications to the conservation of biodiversity. *Aerobiologia*, 30 : 111-122.

- Fleury A. (2010). Les problèmes techniques du semis. Association française pour l'étude du sol. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(8): 229-5518.
- Fondio L., Djidji A.H., N'gbesso M.F.D.P. & Koné D. (2013). Evaluation de neuf variétés de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) par rapport au flétrissement bactérien et à la productivité. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(3): 1078-1086.
- Fonseca A.E., Westgate M.E. & Doyle R.T. (2002). Application of fluorescence potential kernel production in maize hybrid seed fields. *Crop Science*, 44(5): 1696-1709.
- Fonseca A.E., Westgate M.E., Grass L. & Dornbos D.L. (2003a). Tassel morphology as an indicator of potential production in maize. <http://acess.onlinelibrary.wileu.com>. CM-2003-0804-01-RS. Consulté le 15/03/2024.
- Fonseca A., Lizaso J.I., Westgate M.E. & Batchelor W.D. (2003b). Predicting potential kernel set in maize from simple flowering characteristics. *Crop Science*, 43(3): 892-903.
- Fonseca A.E., Lizaso J.I., Westgate M.E., Grass L. & Dornbos D.L. (2004). Simulating microscopy and image analysis for quantifying dynamics of maize pollen shed. *Crop Science*, 42(6): 2201-2206. <https://acess.onlinelibrary.wiley.com>
- Fonseca A.E. & Westgate M.E. (2005). Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research*, 94(2-3): 114-125.
- Forster B.P., Heberle-Bors E., Kasha K.J. & Touraev A. (2007). The resurgence of haploids in higher plants. *Trends in Plant Science*, 12 : 368-375.
- Fouellassar X., Jarosz N., Loubet B., Durand B. & Hubert, L. (2005). Variations in maize pollen emission and deposition in relation to microclimate. *Environmental Science & Technology*, 39(12): 4377-4384.
- Freeling M. & Walbot V. (1996). The Maize Handbook. *Journal of Agriculture Science*, 126 : 123-126.
- Fuentes A. & Danya D. (2016). Proteome analysis of maize mature pollen. *Plant Reproduction* 29(2) : 91-101.
- Fusillier T. & Jean L. (1994). L'ajustement de la production de maïs à l'élargissement des débouchées en Côte-d'Ivoire une dynamique extensive en zone forestière département des cultures annuelles, CIRAD, Montpellier, France, 44 p.
- Gałazka J. & Niemirowicz S.K. (2013). Review of research on haploid production in cucumber and other cucurbites. *Folia Horticulturae*, 25(1) : 67-78.

- Galinat W.C. (1992). Evolution of Corn. *Advances in Agronomy*, 47: 203-231.
- Gallais A. (2011). Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes. Éditions Quæ RD 10, 78026 Versailles Cedex, France, 20 p.
- Gallais A. (2015). Comprendre l'amélioration des plantes Enjeux, méthodes, objectifs et critères de sélection. Éditions Quæ RD 10 78026 Versailles Cedex, France, 240 p.
- Gay J.P. (1984). Fabuleux maïs : histoire et avenir d'une plante, AGPM, Infocompo, Pau, France, 295 p.
- Geiger H. (2009). Doubled haploids. In *Handbook of Maize Genetics and Genomics*. Berlin : Springer, pp. 641-657.
- Genovesi A.D. & Collins G.B. (1982). *In vitro* production of haploid plants of corn via anther culture. *Crop Science*, 22: 1137-1144
- Germana M.A. (2011). Gametic embryogenesis and haploid technology asvaluable support to plant breeding. *Plant Cell Reports*, 30 : 839-857.
- Germana M. (2012). Use of irradiated pollen to induce parthenogenesis and haploid production in fruit crops. Plant Breeding and Genetics Subprogramme Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture Vienna, Austria, 319 p.
- Gilles L., Doll N., Rogowsky P. & Widiez T. (2017). Les plantes haploïdes doublées, un outil de choix dans la création de nouvelles variétés. Laboratoire Reproduction et Développement des Plantes, Université Lyon, ENS de Lyon, UCB Lyon 1, CNRS, INRA, F-69342, Lyon, France, 6 p.
- Gnagne Y. M., Kouadio K. H. & Yapo B. O. (2021). Pratiques culturelles du maïs dans le département d'Agboville en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 163 : 672-684.
- Gnis (2015). Maïs : son origine et ses caractéristiques. Rapport final, Paris, France 5 p.
- Gopalan C. & Rao K.S.I. (1975). Pellagra and amino acid imbalance. *Vitamine and Hormone*, 33: 505-528.
- Guan X., Peng J. & Daolin F. (2024). Technology for Production of Wheat Doubled Haploid via Maize Pollen Induction Updated Review. *Agronomy*, 4(2): 375.
- Hall A.J., Vilella F., Trapani N. & Chimenti C. (1982). The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize. *Field Crops Research*, 5(4): 349-363.

- Hale B., Ferrie A.M., Chellamma S., Samuel J. P., & Phillips G. C. (2022). Androgenesis-based doubled haploidy : Past, present, and futures perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 12 : 751230-751245.
- Hanna W.W. & Towill L. (1995). Long-term pollen storage. *Plant Breeding Reviews*, 13: 179-207.
- Harold M. & Tabo R. (2015). Les cultures céréalières : riz, maïs, millet, sorgho et Blé, Nourrir Afrique. Rapport d'étude du Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire, 37p.
- Hans E. (2007). Characteristics, causes and evolutionary consequences of male-biased mutation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274: 1-10.
- Hidayat P., Phillips T.W. & Ffrench-Constant R. H., (2008): Molecular and morphological characters discriminate *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and confirm reproductive isolation. *Annals of the Entomological Society of America*, (89): 645–652.
- Hörandl E. (2024). Apomixis and the paradox of sex in plants. *Annals of Botany*, 134(1) : 1-18.
- Hopkins W.G. (2003). Physiologie végétale. Edition de Boeck, Université de Bruxelles, Belgique, 532 p.
- Hoopen M.E.T. & Maïga A. (2012). Production et transformation du maïs. *Collection Pro-agro Cameroun*, 29p.
- Horstman A., Bemer M. & Boutilier K. (2017). A transcriptional view on somatic embryogenesis. *Régénération*, 4(4) : 201-216.
- Howe H.F. (2014). Diversity storage : Implications for tropical conservation and restoration. *Global Ecology and Conservation*, 2 :349-358.
- IAEA (1998). Diagnosis and treatment of radiation injuries, Safety Reports Series; n°2, IFPRI, Washington DC, 45p.
- Iovane M. & Aronne G. (2022). High temperatures during microsporogenesis fatally shorten pollen lifespan. *Plant Reproduction*, 35(1), 9-17.
- Jada M., Jone S. & Christian S. (2023). Settling speed of corn (*Zea mays*) pollen. *Journal of Aerosol Science*, 33(11): 1601-1607.
- Jain S.M. (2001). Tissue culture-derived variation in crop improvement. *Euphytica* 118 : 153-166.
- Jain S.M. (2005). Major mutation-assisted plant breeding programs supported by FAO/IAEA. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 82: 113-123.

- Jan S., Parween T., Siddiqi, T. O. & Mahmooduzzafar. (2012). Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20(1) :17-39.
- Jansen P.G. (2017). Population dynamics of translocated *Frithia humilis* : *an endangered sandstone endemic*. Doctoral dissertation, North-West University, South Africa. Potchefstroom Campus, 162 p.
- James A. (2011). Situation mondiale des cultures biotechnologiques/GM commercialisées. *International service for the acquisition of Agri-Biotech Applications application*, 43 p.
- Jean C. & Boisclair J. (2001). Ravageurs et maladies du maïs sucré : Manuel de l'observateur Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA), Sainte-Foy, Québec, 95 p.
- Jones H.E., West H.M., Chamberlain P.M., Parekh N.R., Beresford N.A. & Crout N.M. (2004). Effects of gamma irradiation on *Holcus lanatus* (Yorkshire fog grass) and associated soil microorganisms. *Journal of Environmental Radioactivity*, 74 : 57-71.
- Kahrman F., Ömer C.E & Eren Z. (2015). Effects of open- and self-pollination treatments on genetic estimations in maize diallel experiment. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(3) :703-714.
- Kaushal N., Srivastava V., Singh S., Gangwar R., Singh P., Dansena V., & Paikra M.K. (2023). A Comprehensive Review on Role of Plant Tissue Culture in Ornamental Crops: Cultivation Factors, Applications and Future Aspects. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11) : 1802-1815.
- Keijzer C.J., Leferink-ten K.H.B. & Reinders M.C. (1996). The mechanics of the grass flower: Anther dehiscence and pollen shedding in maize. *Annals of Botany*, 78: 15-21.
- Kim J.H., Chung B., Kim J.S. & Wi S.G. (2005). Effects of in planta gamma-irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of Plant Biology*, 48:47-56.
- Khan I., Naeem M.K., Shahzad A., Zhang Z., Chen J. & Sajjad M. (2024). Optimizing wheat pollen preservation for enhanced viability and *in vitro* germination. *Agronomy*, 14(1) : 201.
- Kouamé A.A., Kouadio K.Y. & Yapo B.M. (2015). La culture du maïs en Côte d'Ivoire : état des lieux, enjeux et perspectives. *Tourillon des Biosciences Appliquées*, 92 : 8761-8770.

- Krell R. (1996). Value- added products from beekeeping: F.A.O, Agricultural service bulletin N°124. The chief Editor, Rome, Italie, 156 p.
- Kurimoto T. Constable J.V. & Huda A. (2010). Effects of ionizing radiation exposure on *Arabidopsis thaliana*. *Health Physics*, 99:49-57.
- Kwon S.T., Jung E.A., Kim J.S. & Korean J. (2001). Effect of g-radiation on growth and antioxidant enzyme activities in Red Pepper. *Life Science*, 11(6) :612- 617.
- Riva-Roveda L. & Périlleux C. (2015). Effets du froid sur les stades précoces de développement du maïs (*Zea mays* L.). *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 19 (1) : 42-52.
- Lantos C. & Pauk J. (2020). Factors influencing the efficiency of wheat anther culture. *Series Botanica*, 62(2) : 7-16.
- Lei Du L., Hao Z., Wangsen X., Kejun M., Dengxiang D., Changping Y. & Liu Y. (2021). Dissecting the Genetic Basis of Flowering Time and Height Related-Traits Using Two Doubled Haploid Populations in Maize. *Plants*, 10(8) : 1585-1585.
- Li J.W., Si S.W., Cheng J.Y., Li J.X. & Liu J. Q. (2013). Thidiazuron and silver nitrate enhanced gynogenesis of unfertilized ovule cultures of *Cucumis sativus*. *Biologia plantarum*, 57(1) : 164-168.
- Li S., Honggen X., Ruizhi X., Bo M., Keru W., Xue J. & Peng H. (2023). The effects of photoperiod and temperature-related factors on maize leaf number and leaf positional distribution in the field. *Frontiers in Plant Science*, 14: 245-256.
- Lichtenthaler H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *ScienceDirect*, 148: 350-382.
- Liu L., Ziyang L., Han H., Bai Y.Q., Yangfan L., Xiong K.H. & Yajia L. (2023). Effet du régime de température de pré-germination sur la germination du pollen et la nouaison du poirier, *Pyrus bretschneiderilia*. *Horticulture*, 9 (10): 1151.
- Lizaso J.I., Westgate M.E., Batchelor W.D. & Fonseca A. (2003). Predicting potential kernel set in maize from simple flowering characteristics. *Crop Science*, 43(3): 892-903.
- Lopez P.G., Canto F.A, Barredo P.F., Zapata-Castillo P., Peniche M.M., Barahona P.F., Iglesias A.L. & Santana B.N. (2006). Direct somatic embryogenesis : a highly efficient protocol for *in vitro* regeneration of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq). *Horticultural Science*, 41 : 1645-1650.

- Lukanda L T., Kalonji M A., Nkongolo C.K.K. & Kizungu V.R. (2013). Effect of Gamma Irradiation on Morpho-Agronomic Characteristics of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 4 : 2186-2192.
- Luven U. (1999). Le maïs dans la nutrition du poulet, l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés. Rome-Italie, 25 p.
- Magdalena G., Ilona Czyczyło M. & Edyta S. (2024). Crucial Factors Influencing the Efficiency of Androgenesis in Oat (*Avena sativa* L.) Through Anther and Microspore Cultures. *Agronomy*, 14 : 3994-40004.
- Malabadi R. B., Nethravathi T. L., Kolkar K. P., Chalannavar R. K., Mudigoudra B. S., Lavanya, L. & Baijnath H. (2023). Cannabis sativa : applications of artificial intelligence and plant tissue culture for micropropagation. *International Journal of Research and Innovations in Applied Science (IJRIAS)*, 8(6) : 117-142.
- Maluszynski M. (2003). Double haploid production in crop plant. University of Silesia, Department of Genetics, Katowice, Poland, 46 p.
- Manchali S., Murthy K.N.C. & Patil B.S. (2012). Crucial Facts about Health Benefits of Popular Indian Cereals. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2(7) : 1-9.
- Maraschin S. F., de Priester W., Spaink H. P. & M. Wang. (2005). Androgenic switch : an example of plant embryogenesis from the male gametophyte perspective. *Journal of Experimental Botany*, 56(417) : 1711–1726.
- Marceau A. (2011). Pollinisation inter-parcellaire chez le maïs : analyse et coupage des processus conditionnant la présence du pollen viable en fonction de la distance à la source. Mémoire de fin de cycle, Science de l'environnement, Institut des Sciences et Technologie, Paris, France, 143 p.
- Marcos-Garcia, P., Carmona-Moreno, C., & Pastori, M. (2024). Intra-growing season dry–wet spell pattern is a pivotal driver of maize yield variability in sub-Saharan Africa. *Nature Food*, 5(9), 775-786.
- Masthigowda M. H., Sharma D., Khobra R., Krishnappa G., Khan H. Singh., S. K. & Singh G. P. (2022). Pollen viability as a potential trait for screening heat-tolerant wheat (*Triticum aestivum* L.). *Functional Plant Biology*, 49(7) : 625-633.

- Massawe F.J., Mwale S.S., Azam A.S.N. & Roberts J.A. (2005). Breeding in Bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.): strategic considerations. *African Journal of Biotechnology*, (6): 463-471.
- Mbiadjeu L.S.P., Djangue N.M., Kamdem T., Tchindjang M. Mama N. & Njouokou S. (2021). La variabilité climatique et ses effets sur la culture du maïs dans l'Arrondissement d'Obala. *Espace Géographique et Société Marocaine*, 24(2): 43-44.
- McKey D.B., Barnaud A., Joly H., Deu M., Khasah C., Monné S. & Garine E. (2008). Gestion des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor*) chez les Duupa (Nord Cameroun). *Cahiers Agricultures*, 17(2) :178-182.
- Mizanur R.K., Matsuyama T., Nakamura I., Ureshino K., Arita T., Iwayoshi M., Ogura-t Sujita Y. & Isshiki S. (2022). Production of Doubled Haploid through Anther Culture of the Male-Fertile Lines in the CMS System of Eggplant with the Cytoplasm of *Solanum grandifolium*. *Environmental Control in Biology*, 60 (3) : 187-190.
- Michael B.V. & David C. (2008). Production et conditionnement du maïs (*Zea mays* L). Guide pratique IITA, Ibanda, Nigeria, 19 p.
- Ming Y.Z. (2005). Microspore culture in wheat (*Triticum aestivum*) — doubled haploid production via induced embryogenesis. *Plant Cell. Tissue and Organ Culture*, 73 : 213-230.
- Mishra R. & Rao G.J.N. (2016) In-vitro androgenesis in rice: advantages, constraints and future prospects. *Rice Science*, 23 : 57-68.
- Moussa A.A., Salako V.K., Charlemagne G.D.S.J., Zaman-allah M., Kakaï R.G & Bakasso Y. (2018). Performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées de maïs au Sud-Ouest du Niger. *African Crop Science Journal*, 26(2) ; 157-173.
- Mtyobile M. (2021). Evaluation of the yield performance of maize cultivars (*Zea mays* L.) in a Semi-Arid Region of the Eastern Cape Province, South Africa. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 7(3): 327-330.
- Mudibu J., Nkongolo C.K.K., Kalonji M.A. & Kizungu V.R. (2012). Effect of Gamma Irradiation on Morpho-Agronomic Characteristics of Soybeans (*Glycine max* L). *American Journal of Plant Sciences*, 3: 331-337.
- Muhammad A.N., Gyuhwa C. & Kirill S.G. (2023). The Genetics, Genomics, and Breeding of Cereals and Grain Legumes: Traits and Technologies for Future Food Security. *Agronomy*, 13(8): 2065.

- Müller F., Bergmann M., Dannowski R., Dippner J. W., Gnauck A., Haase, P. & Theuerkauf M. (2016). Assessing resilience in long-term ecological data sets. *Ecological indicators*, 65 :10-43.
- Munzuroglu O., Obek E. & Geckil H. (2003). Effects of simulated acid rain on the pollen germination and pollen tube growth of apple (*Malus sylvestris miller cv. golden*). *Acta Biologica Hungarica*, 54(1) : 95-103.
- Murra K. A. & Gibson M. I. (2022). Chemical approaches to cryopreservation. *Nature Reviews Chemistry*, 6(8) : 579-593.
- N'da H.A., AKanvou L. & Kouakou C.K. (2013). Gestion locale de la diversité variétale du maïs (*Zea mays L.*) violet Tagouana au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biology Chemical Science*, 7(5): 2058-2068.
- N'da H.A., Akanvou L., Akanvou R. & Zoro Bi I.A. (2014). Évaluation de la diversité agromorphologique des accessions de maïs (*Zea mays L.*) collectées en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 20(3) : 3144-3158.
- Naveed S., Aslam M., Maqbool M.A., Bano S., Zaman Q.U. & Ahmad R.M. (2014). Physiology of high temperature stress tolerance at reproductive stages in maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(4): 1141-1145.
- N'Goran K.E., Kouamé L. & Kati-Coulibaly S. (2008). Carence en vitamine A chez les enfants ivoiriens : résultats d'une enquête nationale. *Santé Publique Nutrition*, 11(12) : 1220-1224.
- Nuss T.E. & Tanumihardjo S.A. (2011). Quality Protein e for Maize Africa: Closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations. *Advances in Nutrition*, 2: 217-224.
- Oladosu Y., Rafii M. Y., Abdullah, N., Hussin G., Ramli A., Rahim H. A. & Usman, M. (2016). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(1), 1-16.
- Oury F.X., Pichon M. & Rouset M. (2020). Une comparaison entre 2 méthodes d'haplodiploïdisation chez le blé tendre : l'androgenèse *in vitro* et le croisement interspécifique avec le maïs. *Agronomie*, 13 : 95-103.
- Pacini E. & Dolferus R. (2019). Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10 : 1-15.
- Pan H., Liao R., Zhang Y., Arif M., Zhang Y., Zhang S. & Song C. (2024). Establishment of callus induction and plantlet regeneration systems of *Peucedanum Praeruptorum* dunn based on the tissue culture method. *Plant Methods*, 20(1) : 174-190.

- Peter A. & Ellen L.S. (2002). The relative advantages of plasticity and fixity in different environments: when is it good for a plant to adjust. *Evolutionary Ecology*,16: 285-297.
- Pathi K. M. & Sprink T. (2023). From petri dish to field: plant tissue culture and genetic engineering of oats for improved agricultural outcomes. *Plants*, 12(21) :3782-3792.
- Penman R., Kariuki R., Shaw Z. L., Dekiwadia C., Christofferson A. J., Bryant G. & Elbourne A. (2024). Gold nanoparticle adsorption alters the cell stiffness and cell wall biochemical landscape of *Candida albicans* fungal cells. *Journal of Colloid and Interface Science*, 654 : 390-404.
- Philippe J.M. (1991). La pollinisation par les abeilles. *Edition Sud*, Paris (France) : 192 p
- Priya K., Neha P. & Keshavkant S. (2022). Gamma radiation : A potential tool for abiotic stress mitigation and management of agroecosystem. *Plant Stress*,5 : 1-11.
- Prost J.P. & Le Conte Y. (2005). Apiculture : connaître l'abeille. *Ed. Technique et documentation*, Lavoisier, Paris (France) : 692 p.
- Prouillac C. (2006). Synthèse et évaluation de nouveaux composés organiques et phosphores contre les effets des rayonnements ionisants, Etude de leur mécanisme d'action *in vitro*, Thèse de Doctorat, Spécialité Chimie -Biologie -Santé, Université Paul Sabatier - Toulouse III, Toulouse France 294p.
- Qiana W., Khana Z., Watsona D.G & Fearnley J. (2008). Analysis of sugars in bee pollen and propolis by ligand exchange chromatography in combination with pulsed amperometric detection and mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(1): 78-83.
- Rabiet E. (1984). Choix et culture des plantes apicoles. Ed. Rabiet, Sablons, France, 418p.
- Radhouane L. (2004). Etude de la variabilité morpho-phénologique chez *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 138 : 18-22.
- Rees P., Summers H. D., Filby A., Carpenter A. E. & Doan M. (2022). Imaging flow cytometry. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1) :86.
- Rouanet G. (1984). Le maïs : Le technicien d'Agriculture tropicale. *Édition Maisonneuve et Larose*, Paris, France 142 p.
- Roulston T.H. Cane J.H. & Buchmann S.L. (2000). What governs protein content of pollen: pollinator preferences, pollen- pistil interactions, or Phylogeny. *Ecological Monographs*, 70(4) : 617- 643.

- Sagili R. R., Chakrabarti P., Melathopoulos A., Delaplane K. S., Dag A., Danka R. G. & Steinhauer N. (2024). Standard methods for pollination research with *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 612-646.
- Sana F. (2007). Etude de l'effet de l'irradiation ionisante sur certains polyphénols alimentaire et résidus pesticides. Diplôme Universitaire de Technologie (D.U.T), Biologie Industrielle, Centre National des sciences et technologie Nucléaire, Maroc, 85 p.
- Salgotra R.K & Chauhan B.S. Genetic Diversity, Conservation, and Utilization of Plant Genetic Resources. *Genes*, 14(1) :174.
- Sarma M.K., Sharma A.A., Samantara K., & Wani, S.H. (2023). *In vitro* techniques in Plant Breeding. *Advanced Crop Improvement*, 1 : 185-215.
- Scherz M.D. & Senser M. (1994). Une nouvelle méthode pour la détermination de la teneur en chlorophylle des tissus foliaires. *Plante, Cellule et Environnement*, 17(3) : 325-332.
- Schieber A. & Carle R. (2005). Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science & Technology*, 16(8): 416-422.
- Schmidt J.O. & Buchman G. (1992). Other products of the hive. *In: The hive and the honey bee*. Dadant and Sons, Hamilton (United State of America) : 279-282.
- Seffi G. & Zelalem S.S. (2024). Maize seed variety identification model using image processing and deep learning. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33(2): 990-998.
- Semassa A.J., Padonou S.W., Anihouvi B.V., Akissoé N.H., Aly D., Adjanohoun A. & Baba-Moussa L. (2016). Diversité Variétale, Qualité Et Utilisation Du Maïs (*Zea Mays L*). En Afrique De l'Ouest : Revue Critique. *European Scientific Journal*, 12(18): 1857-7881.
- Semae-pedagogie. (2025). Origine et caractéristiques du maïs. <https://www.sem-ae-pedagogie.org/sujet/mais-origine-caracteristiques/> .Consulté le 21 septembre 2023.
- Sen D., Naveenkumar K.L., Shimreiso V. & Miranda S. (2020). Genetic characterization and divergence studies of maize (*Zea mays L.*) lines developed from landraces indigenous to North Eastern Hill Region (NEHR) of India. *Plant Genetic Resources*, 18(4): 231-242.
- Sergey V.G., Marina A. G., Vladimir S., Vladimir V. (2019). Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 202 : 8-24.

- Sharma V., Thakur M., Maan S.S., Verma K., Thakur A. & Penna S. (2024). *In Vitro* Mutagenesis: A Non-invasive Technology for Effective Crop Improvement to Assure Food and Nutritional Security—Current Trends, Advancements and Future Perspectives. *Journal of Plant Growth Regulation*, 484-507.
- Shi, D.Q. & Yang W.C. (2009). Pollen germination and tube growth. *Plant Developmental Biology-Biotechnological Perspectives*, 1 : 245-282.
- Silva F.G., Pinto P.B.E.J., Cardoso G.M., Nascimento A.E., Nelson L.D., Sales J.F. & Mol D.J.S. (2006). Influence of radiation level on plant growth, Yield and quality of essential oil in carqueja, *Ciência Agrotecnologia*, 30(1) : 52-57.
- Silva T.M.S., Camara C.A., Links A.C.S., Barbosa-Filho J.M., Silva E.M.S. & Freitas B.M., (2006). Chemical composition and free radical scavenging activity of pollen loads from stingless bee *Melipona subnitida* Ducke. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(7): 507-511.
- Simal-Huidobro J.F. & Muniateguis J. (1988). Study of the sterol fraction of the bee collected pollen. *Journal of Environmental Science*, 39(6): 327-333.
- Skibbe D.S., Wang X., Borsuk L.A., Ashlock D.A., Nettleton D. & Schnable P. (2008). Floret-specific differences in gene expression and support for the hypothesis that tapetal degeneration of *Zea mays* L. occurs via programmed cell death. *Journal of Genetics and Genomics*, 35(10): 603-616.
- Smale M, Byerlee D. & Jayne T. (2011). Maize revolution in Sub-Saharan Africa. Document de travail sur la recherche politique n° 5659, Banque mondiale, Washington DC, USA, 47 p.
- Smith S.E., Doss A.A. & Warburton M. (1991). Morphological and agronomic variation in North African and Arabian alfalfas. *Crop Science*, 31: 1159- 1163.
- Song J.Y., Sivanesan I.A., C.G. & Jeong B.R. (2010). Adventitious shoot regeneration from leaf explants of miniature paprika (*Capsicum annuum*) ‘Hivita Red’ and) ‘Hivita Yellow’. *African Journal of Biotechnology*, 9(19): 2768-2773.
- Soriano M., Li H. & Boutilier K. (2013). Microspore embryogenesis: establishment of embryo identity and pattern in culture. *Plant Reproduction*, 26(3) :181-96.
- Soro D., Ayolie K., Ferdinand G.B.Z., Ferdinand Y.Y., Hippolite K.K., Sydiky B., Pascal T.A. & Yatty Kouadio Y. 2015. Impact of organic fertilization on maize (*Zea mays* L.) production in a ferralitic soil of Centre - West Côte d’Ivoire. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3(6): 556-565.

- Spencer M.M., Foster B. & Jankuloski L. (2020). Manuel d'amélioration des plantes par mutation, Troisième édition, FAO/AIEA, Autriche, 249 p.
- Stamler D. (1994). Assessing diets to improve world health, nutritional research on disease causation in population. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59: 146-156.
- Struik P.C., Doorgeest M. & Boonman J.G. (1986). Environmental-effects on flowering characteristics and kernel set of maize (*Zea mays* L). *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 34(4): 469-484.
- Sumira J., Talat P.T. Siddiqi O. & Mahmooduzzafar P. (2012). Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20(1) : 1-13.
- Sunny A., Rafaqat A.G., Ki-Hong J., Aroosha F., Muhammad U.Q., Mustansar M. & Weijun Z. (2020). Conventional and Molecular Techniques from Simple Breeding to Speed Breeding in Crop Plants: Recent Advances and Future Outlook. *International Journal of Molecular Sciences*, 21: 2590-2595.
- Suryowati T. (2024). Biochemical aspects of cell staining. *Asian Journal of Research in Biochemistry*, 14(3) : 61-71.
- Taliane L.S., Onildo N.J., Janay A.S. & Eder J.O. (2013). *In vitro* pollen germination and pollen viability in passion fruit (*passiflora spp.*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(4) :1116-1126.
- Tardieu F. & Zivy M. (2006). Adaptation de l'agriculture au risque de sécheresse. In : Sécheresse et agriculture, Unité Les Expertises Scientifiques Collective, INRA, Paris, France : 241-257.
- Till B.J., Zerr T., Comai L. & Henikoff S. (2006). A protocol for TILLING and Ecotilling in plants and animals. *Nature Protocols*, 1(5): 2465.
- Todesco M., Balasubramanian S. & Hu T.T. (2022). Genetic interactions and the origin of complex traits. *Nature Reviews Genetics*, 23(1): 32-45.
- Tostain S. (2018). The history of maize in Africa. History of Agriculture in Africa: From the Origins of Planting to the Present. *Brill*, 43(2): 246 -272.
- Touré Y., Koné M., Silué S. & Yatty J. (2013). Prospection, collecte et caractérisation agromorphologique des morphotypes de voandzou de la zone savanicole en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 9 (24) : 1857-7881.
- Tranel D., Perdomo A. & Knapp A. (2008). Tassel development events leading to pollen, pollination dynamics, and kernel set in maize. *Crop Science*, 42(6) : 1910-1918.

- Traore G.S. (2016). Analyse de l'adaptation du maïs (*Zea mays* L.) à la culture en saison sèche froide au Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 63 p.
- Uddin M. J., Liyanage S., Abidi N. & Gill H. S. (2018). Physical and biochemical characterization of chemically treated pollen shells for potential use in oral delivery of therapeutics. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 107(12) : 3047-3059.
- Uribelarrea M., Carcova J., Otegui M.E. & Westgate M.E. (2002). Pollen production, microscopy and image analysis for quantifying dynamics of maize pollen shed. *Crop Science*, 42(6): 2201-2206.
- Van Hout R., Chamecki M., Brush G., Katz J. & Parlange M.B. (2008). The influence of local meteorological conditions on the circadian rhythm of corn (*Zea mays* L.) pollen emission. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(7): 1078-1092.
- Vanhoudt N., Vandenhove H., Horemans N., Wannijn J., Van Hees M., Vangronsveld J, & Cuypers A. (2010). The combined effect of uranium and gamma radiation on biological responses and oxidative stress induced in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101:921-930.
- Vandenhove H., Vanhoudt N., Cuypers A., Van Hees M., Wannijn J. & Horemans N. (2010). Life-cycle chronic gamma exposure of *Arabidopsis thaliana* induces growth effects but no discernable effects on oxidative stress pathways. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48:778-786.
- Veiga P.O.A., Pinho R.G.V., Pinho E.V.R.V., Veiga A.D., Olivira K.C. & Diniz R.P. (2012). Culture media for germination of pollen grains of maize. *Revista Agrarian*, 5(17): 206-211.
- Verdeil J.L. & Pannetiero C. (1990). Optimisation des conditions de germination *in vitro* du pollen de cocotier (*Cocos nucifera* L.) pour la mise au point d'un test de viabilité. *Oléagineux*, 45(4): 176-181.
- Viner B.J., Westgate, M.E. & Arritt R.W. (2010). A Model to predict diurnal pollen shed in maize. *Crop Science*, 50(1): 235-245.
- Vogler A., Wettstein B.M., Aulinger L.I. & Stamp P. (2009). The airborne pollen flow of maize (*Zea mays* L.) in a multi-crop designed field plot. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10): 1776-1780.
- Weng Z., Deng Y., Tang F., Zhao L., Zhao L., Wang Y., Dai X. Zhou Z. & Cao Q. (2023) Screening and optimisation of *in vitro* pollen germination medium for sweetpotato (*Ipomoea batatas*). *Plant Methods*. 19(1) :93-105.

- Westgate M.E., Lizaso J. & Batchelor W. (2003a). Quantitative relationships between pollen shed density and grain yield in maize. *Crop Science*, 43(3): 934-942.
- Westgate M.E., Lizaso J. & Batchelor W. (2003b). Quantitative relationships between pollen potential kernel production in maize hybrid seed fields. *Crop Science*, 44(5): 1696-1709.
- Westgate M.E., Juan P.A., Echarte L. & Borrás L. (2007). Coupling time to silking with plant growth rate in maize. *ScienceDirect*, 102 (1): 73-85.
- Weyens N., Boulet J., Adriaensen D., Timmermans J.P., Prinsen E., Van Oevelen S., D'Haen J., Smeets K., Van der Lelie D., Taghavi S & Vangronsveld J. (2012). Capacité de colonisation et de croissance végétale de l'endophyte pseudo-monas putida W619 après inoculation chez le peuplier hybride. *Microbiology, FEMS Microbiology Ecology*, 140(11) : 217-230.
- Wi S.G., Chung B.Y., Kim J., Kim J.H., Baek M.H., Lee J.W. & Kim Y.S. (2007). Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron*, 38 :553-564.
- Winston M.L, 1993. La biologie de l'abeille. *Nauwelaerts édition*. Toulouse, France, 276 p.
- Xudong Z., Linchuan Y., Xuanke X., Muhammad K., Irshad A., Zhao Y.D., Tiening L., Zhikuan J. & Peng Z. (2019). Plastic film mulching stimulates soil wet-dry alternation and stomatal behavior to improve maize yield and resource use efficiency in a semi-arid region. *Field Crops Research*, 233 : 101-113.
- Xue L., Zhang Y., Wei F., Shi G., Tian B., Yuan Y. & Gu H. (2024). Recent Progress on Plant Apomixis for Genetic Improvement. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(21) : 11378-11406.
- Yadav V. (2016). Effect of gamma radiation on various growth parameters and biomass of *Canscora decurrens* Dalz. *International Journal of Herbal Medicine*, 4(5): 109-115
- Yao J., Chen W. & Fan K. (2023). Novel efficient physical technologies for enhancing freeze drying of fruits and vegetables. *A review of Foods*, 12(23) : 4321-4348.
- Yapo E.S.S., Soro C.L., Beugre M.M., Soro D., Ayolie K., Konan N.O. & Kouadio Y.J. (2022). Variability of some Agronomic parameters of first generation of maize (*Zea mays* L.) obtained by irradiating seeds to different doses of gamma radiation. *International Journal of Current International Journal of Current Research*, 13(03): 316-328.

- Yeboue L.N., Tra Bi C.S., Fondio D., N'goran A.P. (2022). Inventaire des papillons (Insecta: Lepidoptera) ravageurs du concombre (*Cucumis sativus*) à Daloa (Centre-ouest, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2) : 1522-1535.
- Yeo Y.A. (2011). Analyse de la compétitivité de la filière maïs en Côte d'Ivoire. Rapport Final, Côte d'Ivoire, 9 p.
- Yonggui W. & Hing P. (2015). Random balance design for the estimation of first order global sensitivity indices. *Reliability Engineering and System Safety*, 91 : 717-727.
- Youmbi E., Marie-Therese C., Verhille A. & Carbonnier J.M. (2009). Morphologie et germination *in vitro* du pollen de *Dacryodes edulis* (Burseraceae). *Grana*, 37(2) : 87-89.
- Brunet Y., Laurent L., Huber X.F., Jean P. & Pierre T. (2006) Dispersion du pollen de maïs à longue distance : sources, transport, dépôt. Organismes génétiquement modifiés : aspects socio-économiques, alimentaires et environnementaux, Paris, France : 63-65.
- Zaka R., Chenal C. & Misset M.T (2004). Effects of low doses of short-term gamma irradiation on growth and development through two generation of *Pisum sativum*, *Science Total Environemental*, 320:121-129.
- Zakharova E. V., Demyanchuk I. S., Sobolev D. S., Golivanov Y. Y., Baranova E. N. & Khaliluev M. R. (2024). Ac-DEVD-CHO (caspase-3/DEVDase inhibitor) suppresses self-incompatibility-induced programmed cell death in the pollen tubes of petunia (*Petunia hybrida* E. Vilm.). *Cell Death Discovery*, 10(1), 59-70.
- Zhong Y., Liu C., Qi X., Jiao Y., Wang D., Wang Y., Liu Z., Chen C., Chen B., Tian X., Li J., Chen M., Dong X., Xu X., Li L., Li W., Liu W., Jin W., Lai J. & Chen S. (2019). Mutation of ZmDMP enhances haploid induction in maize. *Nature Plants*, 5 : 575-580.
- Zoro Bi I.A. & Kouadio Y.J. (2017). Analyse de la filière maïs en Côte d'Ivoire : Cas du district autonome de Yamoussoukro. *Journal of Applied Biosciences*, 114 : 376-387

ANNEXES

Annexe 1 : Composition du milieu

KNO_3 (Nitrate de Potassium)+4

NH_4NO_3 (Ammonium Nitrate)

$\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (Calcium chloride dihydrate)

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Nitrate de Calcium)

KH_2PO_4 (Monobasic potassium phosphate)

$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (Magnesium sulfate heptahydrate)

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (sulfate Ammonium)

$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (Zinc sulfate heptahydrate)

KI (Iodure de potassium)

$\text{Mn SO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (Sulfate de Magnesium heptahydrate)

H_3BO_3 (Acide Borique)

$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (Sodium molybdate dihydrate)

$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ (Sulfate pentahydrate)

$\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (Cobalt (II) chloride hexahydrate)

PUBLICATIONS

- 1-** Edwige-Salomé Sopie YAPO, **Chigata Lohona SORO**, Martine Manéhonon BEUGRE, Dognimeton SORO, Koutoua AYOLIE, N'guessan Olivier KONAN, and Justin Yatty KOUADIO (2020). Variability of some agronomic parameters of first generation of maize (*Zea mays* L.) obtained by irradiating seeds to different doses of gamma radiation. (Hors thèse)
- 2- Chigata Lohona SORO**, Sopie Edwige-Salomé YAPO, Tièba Victor OUATTARA, Oi Kouadio Samuel KOUADIO et Yatty Justin KOUADIO (2024). Étude des paramètres de production de six nouvelles lignées de maïs (*Zea mays* L.) Blanc sélectionnées pour la sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire.
- 3- Chigata Lohona SORO**, Brahim TRAORE, Yao Jacques Edouard KOUADIO, Sopie Edwige-Salomé YAPO, Ahou Nadia KANGA and Yatty Justin KOUADIO (2025). White Maize (*Zea Mays* L., 1753) six new lineages Agro-morphological performance In Cote D'Ivoire.

COMMUNICATIONS

Communication Poster n°1

Chigata Lohona SORO, Sopie Edwige-Salomé YAPO. Effet de la pollinisation manuelle sur les paramètres de cinq accessions de maïs (*Zea mays* L.) provenant des localités du centre Nord de la Côte d'Ivoire. Journées Scientifiques de l'Agroforesterie (JSAGOF-2021). UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire du 12 au 13 Mars 2021.

Communication orale n°2

Chigata Lohona SORO, Sopie Edwige-Salomé YAPO. Caractérisation agromorphologique de 4 accessions de maïs de Katiola pour la sélection de lignée homogène. Journées Scientifiques Internationales des femmes chercheurs (JSIFC). UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire du 08 au 10 novembre 2022.

Communication orale n°3

Chigata Lohona SORO, Sopie Edwige-Salomé YAPO. Androgenèse du maïs (*Zea mays* L.) en Côte d'Ivoire : qualité reproductrice des pollens issus de la variété EV8728. Colloque international : Crise sécuritaires en Afrique : Diagnostique, Défis et Stratèges pour des solution durables. UNIVERSITÉ PELEFORO GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire du 28 novembre au 1^{er} décembre 2023.

ATTESTATIONS DE PARTICIPATION ET DE FORMATION

- 1- Certificat de Participation à la formation en technique de sélection de mutants de maïs initiée par l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique) dans le cadre du projet IVC-5040, UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire du 10 au 13 Mars 2020.
- 2- Attestation de Participation à l'atelier de formation sur le thème : Rédaction d'articles scientifiques. UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire du 17 au 19 novembre 2021
- 3- Attestation de formation au Moov CYBERLAB 2021 sur la réalisation d'un Buisines Model Canvas. UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire le 23 novembre 2021.
- 4- Attestation de formation sur l'élaboration d'une carte avec les données agronomiques géoréférencées et les outils QGIS, OSMTracker, GPS test. UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire du 09 au 10 Août 2023.
- 5- Participation à l'atelier de formation sur l'entrepreneuriat initié par le FONSTI. UNIVERSITÉ JEAN LOROUGNON GUÉDE, Daloa, Côte d'Ivoire du 17 au 18 octobre 2023.
- 6- Attestation de formation sur les thèmes : Agroforesterie, changement climatique, code forestier et la propriété de l'arbre de 2022 à 2023.
- 7- Attestation de service : Organisation et sensibilisation communautaire sur les bonnes pratiques nutritionnelles au profit des populations de la commune de Daloa. 3^e journées de nutrition au Centre culturel Municipal de Daloa du 31 juillet au 1^{er} Août 2024.

Résumé

La production de maïs en Côte d'Ivoire est essentielle pour l'autosuffisance alimentaire de sa population. Cependant, elle est confrontée à des défis majeurs dus aux contraintes pédologiques et climatiques, mettant en péril la sécurité alimentaire et la préservation des ressources phylogénétiques du maïs. La mise à la disposition aux producteurs des semences de maïs de qualité serait un atout pour l'amélioration de la productivité. Pour lever ces contraintes, deux techniques ont été utilisées pour produire des lignées pures et résistantes de maïs. Cette étude a été menée pour caractériser des lignées productives à partir de l'irradiation gamma et aussi de tester la viabilité du pollen de maïs afin d'initier plus tard un protocole efficace de production *in vitro* de plants double-haploïdes et résistants à la sécheresse. Pour ce faire, l'évaluation des caractères agronomiques de 14 lignées obtenues au cours de la 5^e génération cultivée à partir des semences de maïs irradiées à 200 et 300 Grays a été menée. Parallèlement, au laboratoire, la viabilité des pollens de EV8728 et différents milieux de culture ont été testés pour l'initiation de l'androgénèse. Les résultats des analyses descriptives ont révélé une diversité significative entre les lignées étudiées. De plus, la classification hiérarchique ascendante a permis de regrouper ces lignées en quatre (4) groupes distincts. Les paramètres de floraison ont révélé des cycles tardifs des 14 lignées par rapport à la variété témoin T0D0. En ce qui concerne la production, les rendements plus élevés ont été observés chez les lignées L80D200 et L36D300 par rapport à la lignée témoin. Cette évaluation agronomique approfondie a permis d'établir une carte d'identité pour chaque lignée, qui servira de référence pour de futures études. En parallèle, l'évaluation de la viabilité des microspores isolés pour le processus d'androgénèse a révélé des résultats significatifs, démontrant des taux élevés de germination allant jusqu'à 96 - 97 % dans un milieu YP modifié, suite à l'identification de conditions de germination optimales.

Mots clés : autosuffisance alimentaire, production, lignée, diversité, caractère, Maïs (*Zea mays*. L)

Abstract

Maize production in Côte d'Ivoire is essential for the food self-sufficiency of its population. However, it faces major challenges due to pedological and climatic constraints, jeopardizing food security and the preservation of maize's phylogenetic resources. Providing producers with quality maize seeds would be an asset for improving productivity. To overcome these constraints, two techniques were used to produce pure and resistant maize lines. This study was conducted to characterize productive lines resulting from gamma irradiation and also to test the viability of maize pollen in order to later initiate an efficient *in vitro* production protocol for double-haploid plants resistant to drought. To this end, the evaluation of agronomic traits of 14 lines obtained during the 5th generation cultivated from maize seeds irradiated at 200 and 300 Grays was carried out. Simultaneously, in the laboratory, the viability of pollen from EV8728 and different culture media were tested for the initiation of androgenesis. The results of the descriptive analyses revealed significant diversity among the studied lines. Furthermore, the hierarchical ascending classification made it possible to group these lines into four (4) distinct groups. The flowering parameters revealed late cycles for the 14 lines compared to the control variety T0D0. Regarding production, higher yields were observed in lines L80D200 and L36D300 compared to the control line. This in-depth agronomic evaluation made it possible to establish an identity card for each line, which will serve as a reference for future studies. In parallel, the evaluation of the viability of isolated microspores for the androgenesis process revealed significant results, demonstrating high germination rates of up to 96 - 97% in a modified YP medium, following the identification of optimal germination conditions.

Keywords : food self-sufficiency, production, line, diversity, trait, Maize (*Zea mays*. L)



ISSN: 0975-833X

Available online at <http://www.journalcra.com>

INTERNATIONAL JOURNAL
OF CURRENT RESEARCH

International Journal of Current Research
Vol. 12, Issue, 04, pp.10152-10157, April, 2020

DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.38553.04.2020>

RESEARCH ARTICLE

VARIABILITY OF SOME AGRONOMIC PARAMETERS OF FIRST GENERATION OF MAIZE (*ZEA MAYS* L.) OBTAINED BY IRRADIATING SEEDS TO DIFFERENT DOSES OF GAMMA RADIATION

*Edwige-Salomé Sopie YAPO, Chigata Lohona SORO, Martine Manéhonon BEUGRE, Dognimeton SORO, Koutoua AYOLIE, N'guessan Olivier KONAN and Justin Yatty KOUADIO

Jean Lorougnon Guédé University, Faculty of Agroforestry, Department of Genetics, Biology and physiology, Agricultural Production Improvement Laboratory, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 28th January, 2020
Received in revised form
25th February, 2020
Accepted 28th March, 2020
Published online 30th April, 2020

Key Words:

Maize, Gamma Radiation,
Self-Fertilization,
Mutation, M₁ Generation,
Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a cereal that has grown in all agricultural regions of the world. It is a cereal grown in a wide variety of growing conditions ranging from tropical to temperate climates. However, climate change, which is causing more intense drought followed by severe soil degradation, will lead to a reduction in the development and production of maize plants in northern Côte d'Ivoire. The aim of this study was to develop high-performance cultivars adapted to environmental conditions within a short period of time; Gamma radiation-induced mutation techniques were initiated. Three different gamma radiation doses (100; 200; 300 Grays) were applied to maize seeds of the variety EV8728. These seeds had grown and the technique of controlled self-fertilization was carried out as soon as the first flowers appeared. Data collected were analyzed with Statistic software. The impact of gamma irradiation at different doses on the growth and yield of first generation maize mutants was evaluated. Analyses of variance showed that the different irradiation doses had a very highly significant effect ($p < 0.001$) on all parameters studied. Stem heights showed a reduction of 7.41 % in stem height for 100 and 200 Grays dose followed by a reduction of 25.6 % for 300 Grays dose compared to the control. The weight of spikes with and without the spathes decreases with increasing radiation dose. The highest values were given by plants from controls (120, 26 ± 8,93a) and the lowest values were obtained from plants that seeds were irradiated at the 300 Grays dose (66,29 ± 16,51c). All the results obtained indicate a significant reduction in the morphological and production parameters studied, except for sensitivity or resistance to lodging which is not related to the different doses. This reduction is accentuated at 300 Grays compared to the other radiation doses and the control. This effect is more or less important depending on the dose applied and is reflected in the biomasses or dimensions of the organs. For example, the use of gamma radiation has led to a morphological and physiological change in maize plants grown with new capabilities. These data have shown that gamma radiation can, at any dose, create drought resistant crop mutant to improve maize production in areas affected by severe soil degradation.

Copyright © 2020, Edwige-Salomé Sopie et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Edwige-Salomé Sopie YAPO, Chigata Lohona SORO, Martine Manéhonon BEUGRE et al. 2020. "Variability of some agronomic parameters of first generation of maize (*zea mays* l.) obtained by irradiating seeds to different doses of gamma radiation", *International Journal of Current Research*, 12, (4), 10152-10157.

INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is an annual herbaceous tropical plant of Poaceae family. It is one of the most widely consumed and grown cereals in the world (Von Braun et al., 2010). Maize is an important food resource in tropical and subtropical regions. Its world production is estimated at 982 million tons with main producers being United States, China and Brazil (Statista, 2019). In Africa, maize production is more than 70 million tons from an area of 34 million hectares (Harold and Tabo, 2015).

*Corresponding author: Edwige-Salomé Sopie YAPO,
Jean Lorougnon Guédé University, Faculty of Agro forestry,
Department of Genetics, Biology and physiology, Agricultural
Production Improvement Laboratory, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire..

In Côte d'Ivoire, maize is the second most widely grown cereal after rice. Its annual production was 663780 tons, with a total area of 327 800 ha in 2018 (Statista, 2019). Maize cultivation accompanies the development of the Ivorian food trade, thanks to its storage potential, its high productivity and its location throughout the Ivorian territory. In forest areas, maize cultivation has gradually taken a considerable place by exploiting topographically high areas to complement rice, cassava, yam and taro cultivation (Kouakou et al., 2010). For a long time considered as a simple subsistence product, maize is today the subject of agricultural speculation which is intensifying in Côte d'Ivoire with economic stakes that have become increasingly important. However, maize cultivation faces many problems caused by climate change, which is leading to increasing drought and soil degradation.

The main problems in maize cultivation are the high sensitivity of cultivars to poor soils and low rainfall (Benmahammed *et al.*, 2010). Indeed, maize is a very water-intensive plant (Gong *et al.*, 2015), especially during the two weeks before and after the appearance of silk (Farahani *et al.*, 2014). Improving maize production therefore requires better control of the sensitivity of cultivars to climatic conditions. Since induction of mutations now occupies a prominent place in plant breeding. The use of gamma radiation as a source of increasing variability and specific improvement is necessary to create new varieties that guarantee maximum production under low water regimes significant changes in phenotype. Many experiments have shown that several traits such as earliness, resistance to diseases and pests, lodging resistance, drought resistance can be more easily obtained by artificial mutations than by hybridization or other ordinary breeding methods (Abdul *et al.*, 2010). Thus, the use of Gamma radiation-induced mutation techniques to create high-performance varieties are of definite interest to Côte d'Ivoire since it offers the advantage of obtaining high-performance cultivars adapted to increasingly unfavorable environmental conditions in a short period of time. The general objective of this study is the development of high production and drought resistant maize varieties was initiated. This study was conducted to assess the effect of the irradiation dose to EV8728 maize seed on the growth and productivity parameters of plants grown from irradiated seed.

MATERIALS AND METHODS

Study site: The work of the present study was carried out on the experimental site of Jean Lorougnon Guédé University of Daloa (Centre-Western Côte d'Ivoire). Daloa is located between 6°53'38 north latitude and 6°27'0 west longitudes and is part of Haut Sassandra region. The climate is tropical. The average temperature is 27.5 °C with an annual rainfall of between 1000 and 1500 mm. The soil at the study site is predominantly ferralitic (Soro, 2015). The work was carried out in the field.

Plant material: The study focused on the first generation of maize (*Zea mays*) obtained by seed irradiated the variety EV8728. EV8728 variety has a cycle from 105 to 110, yellow grains with a toothed texture and the average yield per hectare is from 3 to 5 t. The variety is tolerant to stripping and root lodging (Akanvou, 2006). The variety was supplied by the National Centre for Agronomic Research (CNRA) in Korhogo, Côte d'Ivoire.

Seed preparation: Dried maize seeds of variety EV8728 were irradiated at Genetic and Plant Breeding Laboratory of International Agency Energy Atomic (IAEA) in Seibersdorf, Australia. 1kg of seeds was divided into 3 lots. The different batches were irradiated respectively with gamma rays of 100, 200, and 300 Grays and sent for sowing to Daloa. Doses of 100, 200 and 300 Grays were chosen after radio sensitivity tests on corn seeds. The witness is represented by the uneradicated seeds.

Preparation of the experimental device: An experimental plot of 342m² (18 x 19 m) was used for the design of the experimental set-up. This plot was cleaned up and chicken droppings were buried in the ground. A fully randomized Fisher block device with two replicates was set up. Each rehearsal constitutes a block, with 152 m² per block. The distance between the two blocks is 2 m.

Each block consists of 4 sub-blocks spaced 1 m apart. Each sub plot of 32m² has 11 lines spaced 0.8 m apart. Each line contains 11 bundles 0.4 m apart.

Sowing and maintenance phase: The maize seeds were sown manually to a depth of 3 cm with 2 kernels per bundles according to the experimental set-up. After 2 weeks sowing, 5 g of urea were applied around each bundles. The second cover fertilizer NPK (15,15,15) was applied the same time after urea application. Manual weeding of the plot was carried out at the time of seed emergence and again three weeks later. The plot is equipped with a drip irrigation system that has allowed the daily watering of the plot.

Obtaining the M₁ generation plants by self-fertilization: Sixty-seven (67) days after sowing, the male and female flowers were covered with craft paper envelopes as soon as they appeared. The cobs have been wrapped to avoid pollution by foreign pollen. For the panicle of the same foot, when it reaches maturity, pollen is collected in the envelope and transferred to the female flowers.

Data Collection: Growth parameters were measured at 67 days after sowing. The caulogenic parameters (concerning the stem) selected are:

- The Plant Height (HP) which is the distance from the base of the stem to the point of cob insertion;
- The Insertion Height (HIE) of cob which is the distance from the collar to the insertion point of the cob on the stem;
- The Collar Diameter is the circumference of the base plant at a height of 1 to 2 cm from the ground;
- The Verse Sensitivity Index (VSI) is calculated following this formula:
- $VSI = HIE / HP(11)$. When the results tend towards 1 then the plant is resistant to lodging.

The phylogenetic parameters (leaf formation) measured are:

- The Number of leaves obtained by counting from germination to the appearance of spikelet's;
- Leaf length (LngLf) is taken from the longest leaf observed on the plant;
- The Sheet Width (WS) is the measurement of the median of the sheet;
- The Leaf Area (LfA) is calculated as: $LfA = LngLf \times WS \times 0.75$ (Lichtenthaler, 1987).

Data of production were collected at harvest, 153 days after sowing. The selected parameters are:

- The Number of cobs was obtained by counting each corn stalk;
- The Filling of Cobs has been established according to a scale from 1 to 3 corresponding to filling levels: 1: Fully filled cobs; 2: Medium filled cobs; 3: Lightly filled cobs;
- The weight of cobs with spathes and without spathes was determined using a scale.

Statistical analysis: The data of different vegetative parameters were performed using the Statistica7.1 software. The data obtained were subjected to analysis of variance and

Tukey's test was used to means comparison. Tukey's and variance's tests were used for the calculation and classification of the averages, respectively.

RESULTS

Effect of irradiation doses on caulogenic parameters: The caulogenic parameters of mutated maize plants from irradiated EV8728 seed were influenced by different irradiation doses (Table 1). Analyses of variance showed that the different irradiation doses had a very highly significant effect ($p < 0.001$) on all caulogenic parameters of different stalks of corn. The different results indicate that the stem height, the diameter of the collar and the insertion height of the cob decrease with increasing irradiation dose. Stem heights showed a 7.41% reduction in stem height for the 100 and 200 Grays dose followed by a 25.6% reduction for 300 Grays dose compared to the control. The classification of treatments made it possible to distinguish two different groups at 95% confidence level. The first group is composed of the control, 100 and 200 Grays dose while the second group is composed of 300 Grays dose. For collar diameter, statistical analysis revealed also a significant reduction of 6.32% and 23.49% for the 100 and 300 Grays doses, respectively, compared to the control and a slight increase of 1.45% for the 200 Grays dose. The comparison of the averages identified two different groups identical to those of stem height parameter. For the insertion height of the cob, a significant reduction under the influence of different doses was observed. This reduction is 12.58%; 19.23% and 30.73% for the 100; 200 and 300 Grays doses, respectively, compared to the control. Comparison of averages identified 2 groups also. The control, 200 and 300 Grays doses make up Group 1, while the 100 Grays doses make up Group 2.

Impact of irradiation dose on phylogenetic parameters: The results on the effect of gamma irradiation dose on phylogenetic parameters of mutated maize plants from irradiated seed are reported in Table 2. The irradiation dose has a very highly significant effect ($p < 0.001$) on all phylogenetic parameters. The number of leaves, leaf length, leaf width and leaf area decreases as the irradiation dose increases. Statistical analysis reveals a significant reduction in the different parameters studied for plants from seeds irradiated with 100, 200 and 300 Grays doses compared to the control. Comparison of means of different phylogenetic parameters identified two different treatment groups, the first group consisting of control, the 100 and 200 Grays dose and the 300 Grays dose which constitutes the second group. These results show that gamma radiation induces a significant reduction in phylogenetic parameters. The various parameters decrease effectively as the irradiation dose increases.

Influence of gamma radiation dose on production parameters: The results on the effect of different gamma irradiation doses on the production parameters of mutated maize are shown in Table 3. The number of cobs is represented by the appearance of individual cobs on the corn stalk. The highest values are obtained from plants derived from seeds irradiated at the 300 Grays dose (1.7 ± 0.24) and the lowest from control plants (1.16 ± 0.12). The number of cobs harvested increases with increasing radiation doses. Comparison of averages identified two treatment groups. Group 1 consists of control, 100 and 200 Grays dose and Group 2 consists of 300 Grays dose.

The weight of cobs with and without spathes decreases with increasing radiation dose. The highest values are given by plants from non irradiated seeds and the lowest values are obtained from plants from seeds irradiated at the 300 Grays dose. Comparison of the averages for these 2 parameters revealed 3 treatment groups. Group 1 consists of the control, 100 and 200 Grays dose were group 2 and Group 3 consists of 300 Grays dose. With regard to the filling of cobs, the results show an increase with the increasing radiation dose. The statistical analysis identified three groups. The first one is the control; group 2 is composed of the 100 and 200 Grays radiation and finally group 3 is composed of the 300 Grays dose. At the level of the lodging sensitivity index, the results indicate a very small variation of 0.42 ± 0.01 to 0.44 ± 0.21 . Statistical analysis indicates that no significant difference ($p > 0.05$) was observed between plants from irradiated seed and the control. The analysis of results showed that various production parameters decrease with the increase of the irradiation dose with the exception of the number of cobs and the filling of cobs which increases with the dose. No significant effects of different irradiation doses were observed on the lodging resistance index. On the other hand, the different irradiation doses have a very highly significant effect ($p < 0.001$) on all production parameters studied except for the lodging resistance index ($p > 0.05$).

DISCUSSION

The use of gamma radiation at doses of 100, 200 and 300 Grays on EV8728 maize seeds has induced an influence in the different parameters studied. However, these parameters behave differently depending on the applied radiation dose. At the 100 and 200 Grays doses, the reduction in parameters is significantly lower compared to the 300 Grays dose where the reduction is very high. This result indicates that the irradiation doses used inhibit plant growth. In general, increased irradiation doses have detrimental effects on plant growth, this is consistent with the (Saiful *et al.*, 2015) work, who showed that higher doses of gamma radiation are detrimental to the growth of young grape plants. The work on curcuminoid plants (*Curcuma longa*) showed that the maximum height of the plant is obtained at lower doses of gamma irradiation (Ilyas and Naz, 2014).

This size is reduced as doses become higher and higher. The results of this study showed that high doses of irradiation induced a significant reduction in the size of the maize plants grown from the irradiated seeds. However, this author states that low-dose gamma radiation (50 and 100 Grays) induces an increase in plant growth and an increase in the number of *Canscoradecurrens* nodes (Yadav, 2016). Similar results were reported by (Abdul *et al.*, 2010) on *Lepidium sativum*. According to these authors, the number of leaves, the height and the number of nodes of this plant decrease with increasing gamma irradiation doses. This work has shown that this drop can go up to the death of the plant for a dose of 300 Grays. This could be explained by the fact that a high dose and a long duration of irradiation would lead to the destruction of plant cells (Jan *et al.*, 2012). Indeed, the high dose of irradiation increased inhibition and arrest of the cell cycle and caused genome damage (Preuss *et al.*, 2003). For these authors, ionizing radiation caused biological effects, mainly changes in DNA and RNA. They observed changes such as chain breaks or hydrogen bonds. These observed changes resulted in the blocking of DNA replication.

Table 1. Influence of gamma radiation on stem parameters in mutated maize plants

Treatment (Gy)	Stem height (cm)	Insertion height of the ears (cm)	Diameter at the collar (mm)
0.0	172,4 ± 7,4a	72,89 ± 2,63a	16,45 ± 0,63a
100	159,61 ± 3,78a	63,8 ± 3,46a	15,41 ± 0,58ab
200	153,36 ± 3,24a	58,87 ± 2,55a	16,69 ± 0,45a
300	128,27 ± 29,94b	50,49 ± 5,57b	12,6 ± 3,96b
P	< 0,001	< 0,001	< 0,001

In a column, values followed by the same letter are not significantly different at 5%. P: Probability

Table 2: Influence of gamma radiation on phylogenetics traits in mutated maize plants

Treatment (Gray)	Number of Sheet	Length of Leaves (cm)	Width of the Sheets (cm)	Leaf area (cm ²)
0.0	17,75 ± 0,41a	82,27 ± 2,7a	8,24 ± 0,21a	509,31 ± 28,95a
100	16,69 ± 0,4a	79,82 ± 2,24 ^a	7,8 ± 0,18a	469,61 ± 18,22a
200	16,88 ± 0,48a	78,22 ± 1,84 ^a	7,76 ± 0,15a	455,87 ± 17,15 ^a
300	15,79 ± 0,6 ^b	69,67 ± 3,75b	6,98 ± 0,21b	365,52 ± 30,02b
P	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Values followed by the same letter are not significantly different at 5% in a column. P: Probabilité

Table 3. Influence of gamma radiation on mutated maize production parameters

Treatment (Gray)	Number herringbone	Spike weight With spathe (g)	Spike weight Without spathe (g)	Filling of spikes	Index of Resistance to pouring
0.0	1,16 ± 0,12a	138,25 ± 7,11a	120,26 ± 8,93a	1,27 ± 0,07c	0,42 ± 0,01a
100	1,17 ± 0,06a	112,35 ± 13,35b	96,13 ± 10,27b	1,53 ± 0,13b	0,39 ± 0,02a
200	1,34 ± 0a	101,65 ± 8,45b	82,64 ± 6,3b	1,95 ± 0,2b	0,38 ± 0,01a
300	1,7 ± 0,24b	80,13 ± 15,13c	66,29 ± 16,51c	2,71 ± 0,14a	0,44 ± 0,21a
P	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,728

In a column, values followed by the same letter are not significantly different at 5 %. P: Probability

When there is no distribution system for the type of binding created, protein synthesis is stopped and oxidation destroys the lipoprotein structure of the membrane. All these disturbances lead to inhibition of cell growth and even death (Sanaa, 2013). This shows that low doses of radiation are able to induce auxin synthesis and high doses destroy auxin activity (Liu *et al.*, 2008). The set of changes caused by irradiation may be the inhibition of seed germination (Rozman, 2014). And, very low doses are effective in controlling germination (Bonhomme, 2003). The doses used depend on the variety, nature and origin of the products as well as environmental conditions. This study also revealed that the different irradiation doses had a very significant effect on the leaf area of maize plants.

This result shows that low doses of gamma radiation irradiation of seeds have stimulating effects on the leaf surface (Lebon, 2006). High doses have a depressive effect on the evolution of the photosynthetic surface. Indeed, according to (Lebon, 2006), irradiation of corn seeds causes stress in the plant. This water stress causes a significant reduction in the photosynthetic surface area. Lack of water causes a decrease in evapotranspiration through leaf senescence and a reduction in leaf area. In addition, the influence of irradiation on maize production parameters showed that the different irradiation doses had a highly significant reducing effect on mutated maize production parameters. This result is in line with those of (Jan *et al.*, 2012), who showed that 100, 200 and 300 Grays doses induce a significant reduction in production parameters. And, those from the works who showed that the number of okra fruits per plant and the length of the fruits following irradiation with gamma radiation had decreased with a high irradiation dose of 250 Grays (Dubey *et al.*, 2007). For these authors, a dose of 250 Grays would inhibit flower formation, hence the absence of fruit formation. This shows that for good growth and production of plants from irradiated seed, a reasonable or low dose should be used. High doses could affect the synthesis of auxins that are responsible for nucleic acid

synthesis, leading to hormone synthesis in plant cells, causing plant development (Jan *et al.*, 2012). This work has thus shown that susceptibility or resistance to lodging is not related to different doses. This parameter is related to different factors such as leaf index, root system, length and diameter of basal internodes and semi density (Yonggui *et al.*, 2015). The lodging has an impact on plant yield and depends on the cultivar (Shi *et al.*, 2016). These results show that doses 100, 200 and 300 Grays have a very significant effect on the weight of the different ears. This indicates that these doses have an inhibitory effect on hormone synthesis, which would prevent the organs of the plant from developing properly. These results are consistent with work that has reported that the most common effect observed in plants after irradiation is growth retardation or cessation (Jones *et al.*, 2004)). This effect is more or less important depending on the dose applied and is reflected in the biomasses or dimensions of the organs. These same results were also obtained on soybeans where they observed a decrease in weight compared to the control at very high doses of ionizing radiation (300 grays) (Jan *et al.*, 2012). The results of this study showed a 66.29% decrease in spike weights without spathes at the 300 Grays dose. For example, dry mass reductions were observed after irradiation of 10 Grays in *Psicum sativum*, or 20 Grays in *Holcuslanatus*. Research has shown that a dose of 50 Grays would increase the yield of the rice seed and the height of the different plants (Maity *et al.*, 2005). While that others works showed that a very high dose (300 Grays) made the rice plants sterile and reduced their height by half (Cheema *et al.*, 2003). According to the results and observations made in the field, the use of ionizing radiation would allow a morphological (decrease) and physiological change on plants. This result shows that gamma radiation is capable of creating culture mutants at any dose (Feng *et al.*, 2019).

These purified and homogeneous mutants could improve maize production in the savannah areas of northern Côte

d'Ivoire, which are affected by severe climate-induced soil degradation.

Conclusion

The study of the influence of the three doses (100, 200 and 300 Grays) of gamma ionizing radiation on the morphological and yield parameters of the first generation of maize of the mutated EV8728 variety revealed a significant difference between the control plants and those from seeds irradiated with gamma radiation. It was found that gamma radiation has an effect on the parameters studied. Ionizing radiation induced the appearance of morpho-physiological changes depending on the radiation dose. Thus, the increase in gamma radiation dose reduced the morphological parameters of the different EV8728 maize plants mutated and also had an impact on maize production. The 300 Grays rate generally reduces plant growth compared to the 100 and 200 Grays rates, therefore there is a lack of dry matter production. This reduction in growth results in a decrease in all growth parameters compared to the control. The doses applied negatively influenced the majority of the productivity parameters analyzed. The most affected trait was plant productivity determined mainly by ear weight and ear filling. These results indicate a relationship between gamma radiation dose and production quality. However, the induced mutation technique applied to EV8728 offers better prospects for achieving our goals.

Acknowledgment

The authors would like to thank IAEA for financial support of the Project IVC5930 and professor KOUADIO Yatty Justin, coordinator of the project for their contribution to the success of this activity.

Conflict of interest statement: The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication.

Funding statement: The project is being financed by the IAEA and the Government of Côte d'Ivoire.

Glossary of Abbreviations

CNRA: National Centre for Agronomic Research

IAEA: International Agency Energy Atomic

REFERENCES

- Abdul, M., Asif, URK., Habib, A., Zahir, M. 2010. Gamma irradiation effects on some growth parameters of *Lepidium sativum* L. ARPN. J Agric. Biol. Sci., 5(1): 39-42.
- Akanvou, L., Akanvou, R., Toto, K. 2006. Effets des variétés de maïs et de légumineuses dans la lutte contre *Strigahermontica* en zone de savane en Côte d'Ivoire. Agron. Afr., 18(1): 13-21.
- Benmahammed, A., Kribaa, M., Bouzerzour, H., Djekoun, A. 2010. Assessment of interaction of barley grain yield (*Hordeum vulgare* L.) advanced breeding lines under semi arid conditions of the eastern high plateaus of Algeria. S pringer, 172 : 383-394.
- Bonhomme 2003. Les bactéries du genre *vibrio* et la santé publique vétérinaire. Thèse. Faculté de médecine de Créteil. 109p.
- Cheema, AA., Atta, BM. 2003. Radiosensitivity studies in basmati rice. Pak. J. Bot. 40(2):605-613.
- Dubey, AK., Yadav, JR., Singh, B. 2007. Studies on induced mutations by g- irradiation in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. Progress. Agric., 7(1/2): 46- 48.
- Farahani, H., Smith, WB. 2014. Irrigation-Making the Case for Irrigated Corn. Clemson University Cooperative Extension. <http://www.clemson.edu/extension/rowcrops/com/guide/irrigation.html>
- Feng, L., Akemsi, S., Takeshi, N., Nobuhiro, HK. 2019. Comparison and characterization of mutations induced by gamma-ray and carbon-ion irradiation in rice (*Oryza sativa* L.) using whole-genome resequencing. Genes Genomes Genetics 9 : 3743- 3751.
- Gong, F., Wu, X., Zhang, H., Chen, Y., Wang, W. 2015. Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. Front Plant Sci., 6 : 1-6.
- Harold, M., Tabo, R. 2015. Les cultures céréalières : riz, maïs, millet, sorgho et Blé, Nourrir l'Afrique. 37.
- Ilyas, S., Naz, S. 2014. Effect of gamma irradiation on morphological characteristics and isolation of curcuminoids and oleoresins of *curcuma longa* l. Journal Anim. Plant Sci., 24(5): 1396-1404.
- Jan, S., Talat, P., Siddiqi, TO., Mahmooduzzafar, X. 2012. Effect of gamma (γ) radiation on morphological, biochemical and physiological aspects of plants and plant products. NRC Research Press, 23p.
- Jones, HE., West, HM., Chamberlain, PM., Parekh, NR., Beresford, NA., Crout, NM. 2004. Effects of gamma irradiation on *Holcus lanatus* (Yorkshire fog grass) and associated soil microorganisms. *J Environ. Radioact.* 74:57-71.
- Kouakou, C., Akanvou, L., Konan, Y., Mahyao, A. 2010. Stratégies paysannes de maintien et de gestion de la biodiversité du maïs (*Zeamays* L.) dans le département de Katiola, Côte d'Ivoire. *J Appl. Biosci.*, 33 : 2100 - 2109.
- Lebon, E. 2006. Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert, l'élaboration du rendement et la qualité. INERA Sup Agro, UMR, Laboratoire d'écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux, 4p Madison, Wisconsin, USA, 225-293p.
- Lichtenthaler, HK. 1987. Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Method Enzymol.*, 148: 350 - 382,
- Liu, H., Wang, Y., Xu, J., Su, T., Liu, G., Ren, D. 2008. Ethylene signaling is required for the acceleration of cell death induced by the activation of AtMEK5 in *Arabidopsis*. *Cell Resistance*. 18(3): 422- 432.
- Maity, JP., Mishra, D., Chakraborty, A., Saha, A., Santra, SC., Chanda, S. 2005. Modulation of some quantitative and qualitative characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) and mung (*Phaseolus mungo* L.) by ionizing radiation. *Radiation Physicochem.* 74(5): 391-394.
- Preuss, SB., Britt, AB. 2003. A DNA-damage-induced cell cycle checkpoint in *Arabidopsis*. *Genetics*, 164: 323-334.
- Rozman, L. 2014. The effect of gamma radiation on seed germination of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta agric. Slov.*, 103(2) : 307
- Saiful, AFMI., Muzahedul, MI., Mehedi. HMd. 2015. Effect of Gamma Irradiation Doses on Morphological and Biochemical Attributes of Grape Saplings, *Agric. Sci.* 6: 505-512.
- Sanaa, C. 2013. Effet de l'Irradiation sur les propriétés antioxydantes, antimicrobiennes and cytoprotectrices de l'écorce de *Punicagranatum*. Mémoire de master

- professionnel en sécurité sanitaire des aliments, faculté des sciences de la vie de Bizerte, Tunisie 83p.
- Shi, DY., Li, Y., Zhang, JW., Liu, P., Zha, B., Doong, ST. 2016. Effet of plant density and nitrogen rate on lodging related stalk traits of summer maize. *Plante soil environ.*, 62(7) : 299-306.
- Soro D., Ayolie, K., Ferdinand, GBZ., Ferdinand, YY., Hippolite, KK., Sydiky, B., Pascal, TA., Justin Yatty Kouadio. 2015. Impact of organic fertilization on maize (*Zea mays L.*) production in a ferralitic soil of Centre – West Côte d'Ivoire. *J Exp Biol. Agric. Sci.*, 3(6). 556-565.
- STATISTA. 2019. World Production of maize 2018/2019. [https:// www.fr.statista.com](https://www.fr.statista.com) Accessed 12 December 2019.
- Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., Waage, J. 2010. A Draft Strategy and Results Framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC. *AmJPlant Sci.*, 9 :1858-1870.
- Yadav, V. 2016. Effect of gamma radiation on various growth parameters and biomass of *Canscoradecurrens* Dalz. *Int J Herb Med.* 4(5): 109-115
- Yonggui, X., Jianjun, L., Haosheng, L., Xinyou, C., Xianchun, X. 2015. Lodging resistance and yield potential of winter wheat: effect of planting density and genetique. *Front agric. sci.*, 2 (2): 168-178.

Étude des paramètres de production de six nouvelles lignées de maïs (*Zea mays* L.) Blanc sélectionnées pour la sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire

Chigata Lohona SORO^{1*}, Sopia Edwige-Salomé YAPO¹, Tièba Victor OUATTARA¹,
Oi Kouadio Samuel KOUADIO² et Yatty Justin KOUADIO¹

¹ Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Agroforesterie, Département de Génétique, Biologie et
Physiologie, Laboratoire d'amélioration de la production agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

² Université Peleforo Gon Coulibaly, Biological Sciences Department, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

(Reçu le 21 Mars 2024 ; Accepté le 25 Avril 2024)

* Correspondance, courriel : chigatsoro@gmail.com

Résumé

Le maïs joue un rôle crucial dans l'autosuffisance alimentaire des populations ivoiriennes. Toutefois, la production de maïs en Côte d'Ivoire est en baisse en raison de contraintes pédologiques et climatiques. Ce qui constitue une menace à l'autosuffisance alimentaire et aux ressources phylogénétiques du maïs. Cette étude a pour objectif de caractériser les performances de productions de six nouvelles lignées de maïs blanc (L01_{D0} ; L4_{D200} ; L46_{D300} ; L72_{D300} ; L103_{D200} ; L104_{D200}) induites par irradiation gamma des semences de la variété EV8728. Leurs caractères de production ont été évalués sur une parcelle expérimentale à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, selon un dispositif en blocs de Fisher. Une diversité significative entre les lignées étudiées a été mise en évidence à partir des analyses descriptives des différentes données recueillies. La classification hiérarchique ascendante a révélé que cette variabilité est structurée en trois groupes. Le groupe 1 (L01_{D0}) était précoce et productif. Le groupe 2 (L46_{D300}) avait une production moyenne. Le groupe 3 (L04_{D200}, L72_{D300}, L103_{D200} et L104_{D200}) avait une faible production et un rendement relativement bas. Ces résultats guideront les sélectionneurs vers d'autres pistes pour améliorer la productivité du maïs blanc en Côte d'Ivoire, comme le rétrocroisement.

Mots-clés : *autosuffisance alimentaire, production, lignée, diversité, caractère.*

Abstract

Study of the production parameters of six new lines of white maize (*Zea mays* L.) selected for food security in Ivory Coast

Maize plays a crucial role in ensuring food self-sufficiency for the people of Côte d'Ivoire. However, maize production in Côte d'Ivoire is falling due to soil and climatic constraints. This poses a threat to food self-sufficiency and to maize's phylogenetic resources. In response to this problem, six new white maize lines (L01_{D0}; L4_{D200}; L46_{D300}; L72_{D300}; L103_{D200}; L104_{D200}) were tested. Their production traits were assessed in an experimental plot at the Université Jean Lorougnon Guédé in Daloa, Côte d'Ivoire, using a Fisher block design. Descriptive analyses of the various data collected revealed significant diversity between the lines

studied. Hierarchical ascending classification revealed that this variability is structured into three groups. Group 1 (L01D0) was early and productive. Group 2 (L46D300) had average production. Group 3 (L04D200, L72D300, L103D200 and L104D200) had low production and relatively low yield. These results will guide breeders towards other ways of improving white maize productivity in Côte d'Ivoire, such as backcrossing.

Keywords : *food self-sufficiency, production, line, diversity, character.*

1. Introduction

La sécurité alimentaire est un souci majeur dans les pays en voie de développement. Pourtant des potentialités en termes de ressources vivrières existent. Une grande diversité de cultures est pratiquée, et les céréales occupent une place de choix parmi lesquelles le maïs [1]. C'est une plante tropicale herbacée annuelle de la famille des *Poacées* ou graminées [2]. Le maïs est une graminée monoïque avec de larges diversités morphologiques selon les variétés. Il appartient au genre *Zea* qui est un représentant de la tribu des Myadées [3]. En Côte d'Ivoire, le maïs est la deuxième céréale la plus cultivée après le riz avec une production nationale estimée à 1.176.000 tonnes, pour une superficie totale de 558.406 ha avec un rendement moyen national est estimé à 2,11 t/ha [4]. Il occupe une place de choix aussi bien dans les activités agricoles, dans l'alimentation des populations ivoiriennes que dans l'alimentation animale. Il sert également de matière première de certaines industries (brasserie, savonnerie et huilerie). Aussi, est-il utilisé pour la confection de plastiques biodégradables, de biocarburants et même de l'alcool [5]. Pendant longtemps perçu comme une simple denrée de subsistance, le maïs est désormais soumis à une spéculation agricole indéniable, ce qui entraîne une intensification croissante de sa culture en Côte d'Ivoire, créant ainsi un enjeu économique de plus en plus crucial [6]. En outre, Certaines variétés présentent une grande valeur socioculturelle [7]. Cependant, Malgré une production nationale atteignant le million de tonnes, plusieurs contraintes agronomiques sont identifiées à différents niveaux [8]. Il s'agit notamment du raccourcissement de la saison des pluies et la diminution des précipitations, la baisse de la fertilité des sols et la présence d'un grand nombre de ravageurs et de maladies entraînant une baisse des rendements [9]. Tous ces facteurs sont sous l'effet du changement climatique. Aussi, il est important de souligner que l'utilisation de façon générale des variétés traditionnelles, à faible productivité, par les paysans de la filière maïs diminue considérablement le rendement [10]. Ainsi, pour augmenter le rendement national, il est primordial de développer et de promouvoir l'utilisation de variétés améliorées à haut potentiel de production et adaptées au contexte climatique actuel en utilisant les méthodes conventionnelles de sélection [11]. Parmi ces méthodes conventionnelles, se trouvent les mutations induites par irradiation aux rayonnements gamma. C'est une technique rapide et efficace [12]. Dans ce contexte, une étude a été lancée dans le but général est d'évaluer les performances de production de six nouvelles lignées de maïs blanc, obtenues par irradiation gamma des semences de la variété EV8728.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site de l'étude

Les travaux de la présente étude ont été réalisés sur le site expérimental de l'unité de culture *in vitro* du laboratoire d'Amélioration de la Production Végétales à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire (**Figure 1**). Daloa est située entre 6°53'38 de latitude Nord et 6°27'0 de longitude Ouest et fait partie de la région du Haut Sassandra. Le climat est tropical avec une température moyenne de 27,5 °C. La pluviométrie annuelle est comprise entre 1000 et 1500 mm de pluies par an. Le sol du site d'étude est ferrallitique [13].

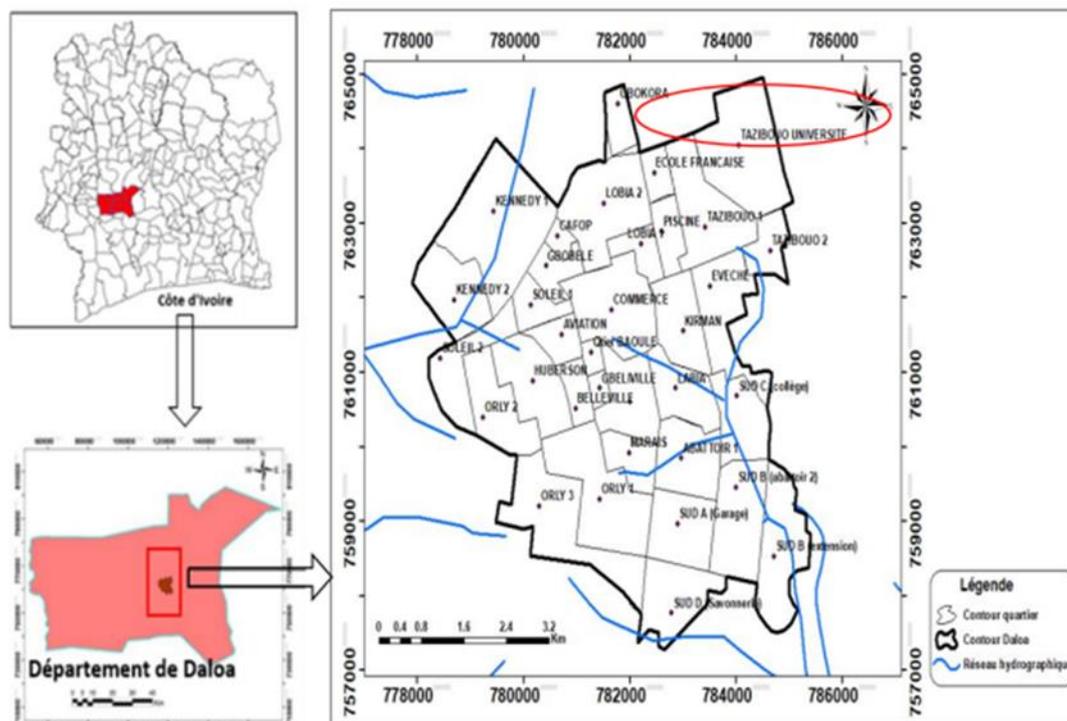


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

2-2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour la réalisation de cette étude a été constitué de plantes de maïs de la cinquième génération issue des semences de la quatrième génération de la variété EV8728. Les souches parentales, fournies par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké en Côte d'Ivoire, ont été exposées à des irradiations au rayonnement gamma aux doses de 200 et 300 grays au sein du laboratoire de "Génétique et Amélioration des Plantes" de l'AIEA à Seibersdorf en Autriche.

2-3. Matériel technique utilisé

Pour la réalisation de cette étude plusieurs outils techniques ont été nécessaires. Il s'agit d'une daba, d'une machette pour le sarclage, des piquets pour délimiter la parcelle, d'un mètre-ruban et d'une pancarte pour l'identification des parcelles. Un pied à coulisse a été nécessaire pour les mensurations du diamètre au collet. Un marqueur permanent a servi au comptage des feuilles. Pour la mesure des données post-récolte la règle graduée a permis de prendre la longueur des épis. En outre, une balance de précision (de la marque OHAUS et précise au centième) a été utilisée pour la pesée des épis et des grains.

2-4. Méthodologie

2-4-1. Dispositif expérimental

Une parcelle expérimentale de 194,56 m² (12,8 m × 15,2 m) a été utilisée pour la mise en place du dispositif expérimental. Ainsi, un dispositif en bloc de Fisher totalement randomisé avec trois répétitions a été installé. La superficie de chaque répétition a été de 56,32 m² (12,8 m sur 4,4 m) et la distance entre deux répétitions de 1 m. Chaque répétition a comporté six lignes (traitements) distantes de 0,8 m chacune. Chaque ligne contenait 12 poquets distancés de 0,4 m en raison de quatre grains par poquets (*Figure 2*).

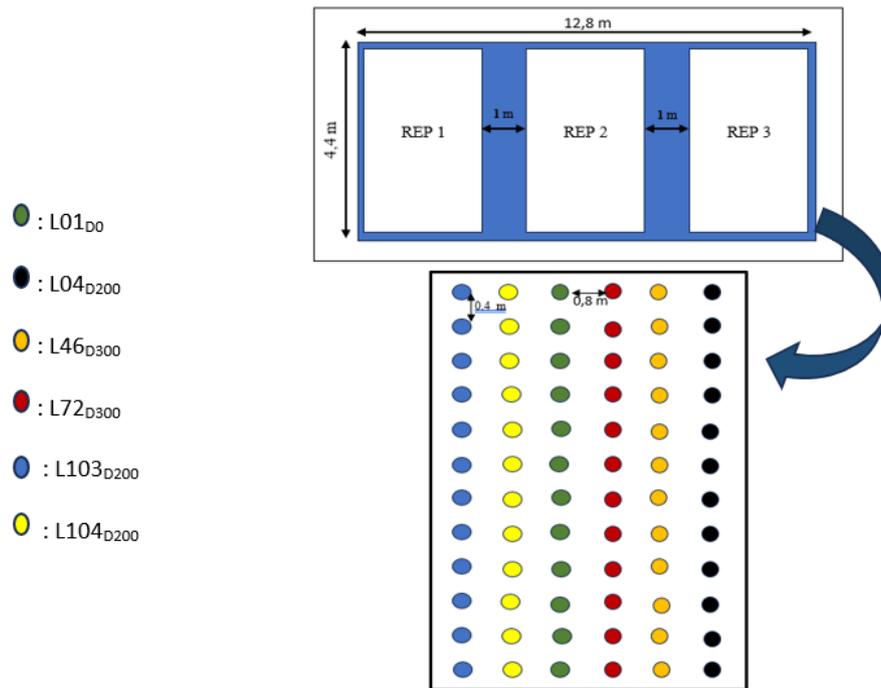


Figure 2 : Dispositif expérimental

2-4-2. Traitements

Les semences de maïs blanc utilisées dans cette expérience ont été celles de la variété EV8728 irradiée aux doses de 200 et 300 grays. Les doses au-dessus de 300 sont létales et en dessous, les semences ne sont pas viables. Pour rendre les mutations induites, de ces semences héritables, cinq cycles d'autofécondation ont été nécessaires. M0 représentait les semences de départ irradiées (variété EV8728), M1 les semences de la génération 1, M2 les semences de la génération 2, M3 les semences de la génération 3, M4 les semences de la génération 4 et M5 les semences de la génération 5. Pour assurer les autofécondations, une pollinisation contrôlée des plantes à chaque génération en plusieurs étapes a été suivie. Avant l'apparition des soies, les épis de chaque plante ont été recouverts d'une enveloppe en papier cristal. Le jour précédent la pollinisation, un sac à panicule (sac de pollinisation) a été placé pour collecter le pollen des fleurs mâles. Le lendemain matin, la plante a été légèrement penchée et secouée pour récupérer le pollen dans le sac à panicule. Ensuite, la protection en papier cristal entourant les soies de la plante femelle a été retirée, et les soies ont été pollinisées avec le pollen du sac à panicule. Immédiatement après, les soies et les panicules ont été recouverts respectivement avec l'enveloppe en papier cristal et le sac à panicule, et maintenu jusqu'à la récolte. Les pollinisations ont été réalisées tôt le matin avant que la température ne dépasse 36°C. À partir de la troisième génération, les semences ont été numérotées en fonction de la ligne dans la parcelle. Ainsi, pour le maïs blanc de la variété EV8728, les lignes 04, 46, 72, 103 et 104 dans le champ, ont été utilisées pour la suite de l'expérience. Chaque ligne représentait une lignée. Ainsi, cinq lignées constituant les traitements ont été obtenues. Ce sont L04_{D200}, L46_{D300}, L72_{D300}, L103_{D200} et L104_{D200}. Ces lignées ont été comparées à un témoin relatif L01_{D0} qui sont les plantes issues de la variété EV8728 de départ non irradié.

2-4-3. Mise en place et entretien de la parcelle

2-4-3-1. Mise en place de la parcelle et phase de semi

Pour la réalisation de ces essais, une daba et une machette ont été nécessaires pour le défrichage et le sarclage manuel. La mise en place de la parcelle a débuté par le défrichage de celle-ci. Ensuite un piquetage

suivi de l'installation d'un système d'irrigation goutte-à-goutte ont été réalisés selon le dispositif expérimental ci-dessus. Le semi a été réalisé en enfouissant quatre grains par poquet. Deux semaines plus tard, un démariage a finalement été fait pour ne laisser que deux plants par poquet.

2-4-3-2. Entretien de la parcelle

La parcelle et ses alentours ont régulièrement été maintenus propres par sarclage manuel. Elle a été amendée avec de l'urée 2 semaines après le semi à raison de 5 g par pied. Le NPK (15-15-15) de quantité 5 g par pied a été apporté 2 semaines après l'application de l'urée. Le sarclage manuel de la parcelle a été réalisé deux fois jusqu'à la production.

2-5. Paramètres mesurés

La caractérisation des différents mutants utilisés au cours de cette étude a concerné les paramètres de productions. Les mesures ont été effectuées sur un effectif de 45 plantes sélectionnées de façon aléatoire dans chaque lignée, soit 15 plantes par répétition.

2-5-1. Paramètres de floraison

Les paramètres de floraison mesurés ont concerné les délais d'apparition des panicules, de l'épi, de 50 % de pollen et de la soie. Ces délais ont été obtenus par comptage de l'intervalle de temps en jours séparant la date du semi et l'apparition des différents organes.

2-6. Paramètres de production

2-6-1. Masses de l'épi avec ou sans spathes et de 100 grains

Les masses de l'épi avec ou sans spathes et de 100 grains ont été mesurées à l'aide d'une balance précise au centième.

2-6-2. Longueur et diamètre des épis

La longueur de la rafle en centimètre (cm), qui ne comprend que les grains, a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, en partant de la base jusqu'au sommet de la rafle. Quant au diamètre de l'épi, excluant la spathe, il a été mesuré en millimètres (mm) à l'aide d'un pied à coulisse, placé au niveau de la partie médiane.

2-6-3. Remplissage des épis

Le remplissage de la rafle de l'épi par les grains est une mesure de l'occupation de celle-ci. Ce remplissage peut être total ou partiel, et il a été évalué sur une échelle de 1 à 3. L'échelle 1 correspondait à un remplissage complet à 100 %, 2 à un remplissage entre 100 et 50 % et 3 en dessous de 50 %.

2-6-4. Nombre de grains par épi

Il a été d'abord mesuré par comptage sur une rangée. Par la suite, le nombre moyen de grains par épi a été déterminé par la formule suivante :

$$(NGEpi) = \text{Nombre moyen de grains d'une rangée} \times \text{Nombre de rangées par épi} \quad (1)$$

2-6-5. Rendement

Le rendement (Rdt exprimé en t/ha) d'une parcelle est le rapport de la masse de grains (MG en kg) par la surface cultivée (en ha).

$$\text{Rdt (T/ha)} = \frac{\text{Masse totale de la production (T)}}{\text{Surface cultivée (ha)}} \quad (2)$$

3. Résultats

3-1. Effets des irradiations sur les paramètres de floraison de maïs blanc

Le **Tableau 1** présente les résultats des paramètres de floraison des plantes de six lignées de maïs blanc irradié. L'analyse de ce tableau a révélé une grande diversité hautement significative ($p < 0,001$), quel que soit le paramètre.

3-1-1. Délai d'apparition des panicules

Le délai d'apparition des panicules (**Tableau 1**) indique une variation de 44,1 jours à 58,04 jours. Les délais les plus longs ont été obtenus avec les plantes issues de la lignée L104_{D200} (58,04 jours) et celui le plus court a été enregistré avec les plantes de la lignée du témoin, L01_{D0} (44,1 jours).

3-1-2. Délai d'Apparition de l'épi

Les plantes de la lignée L103_{D200} (60,19 jours) (**Tableau 1**) ont présenté le plus long délai alors qu'avec celles du témoin L01_{D0} (52,43 jours), les épis ont apparu plus rapidement.

3-1-3. Délai d'apparition de 50 % de pollen

Le délai le plus long (**Tableau 1**) a été enregistré avec les plantes de la lignée L103_{D200} (63,49 jours) et celui le plus court a été obtenu avec les pieds de la lignée témoin L01_{D0} (51,77 jours). Cependant pour les lignées L04_{D200}, L46_{D300} ; L72_{D300} ; L 103_{D200} ; L104_{D200} les délais ont été moyens.

3-1-4. Délai d'apparition de la soie

Le délai d'apparition de la soie indiqué dans le **Tableau 1** présente une variation de 58,8 jours à 63,54 jours. Les valeurs les plus élevées ont été produites par les plantes issues de la lignée L103_{D200} (63,54) et celles les plus faibles ont été enregistrées avec les plantes de la lignée témoin L01_{D0} (58,93) et L46_{D300} (58,80 jours).

Tableau 1 : Valeurs moyennes des paramètres de floraison étudiés en fonction des différentes lignées de maïs blanc

Lignées	D _{Ap} .Pani (jours)	D _{Ap} .Epi (jours)	50%po	D _{Ap} .Soie (jours)
L01 _{D0}	49,10 ± 1,9 ^d	52,43 ± 2,6 ^d	57,77 ± 1,6 ^d	58,93 ± 3,1 ^b
L04 _{D200}	56,61 ± 2,9 ^b	58,52 ± 3,1 ^b	64,45 ± 1,8 ^a	62,33 ± 2,2 ^a
L46 _{D300}	53,70 ± 4,1 ^c	55,45 ± 5,3 ^c	60,64 ± 3,6 ^c	58,80 ± 3,9 ^b
L72 _{D300}	57,14 ± 4,4 ^{ab}	58,75 ± 4,7 ^{ab}	64,11 ± 3,4 ^a	62,75 ± 3,7 ^a
L103 _{D200}	56,42 ± 5,6 ^b	60,19 ± 7,8 ^a	63,49 ± 5,4 ^{ab}	63,54 ± 6,0 ^a
L104 _{D200}	58,04 ± 5,4 ^a	59,38 ± 6,3 ^{ab}	62,98 ± 3,7 ^b	62,75 ± 4,3 ^a
F	29,51	20,78	27,75	20,18
P (<0,05)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P = Probabilité associée à la statistique ANOVA ; F = constance de la variable de test de Fisher. Les moyennes suivies de la même lettre sont identiques au seuil de 5 %. ; Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %. D_{Ap}.Pa : Délai d'Apparition de panicule ; D_{Ap}.Epi : Délai d'Apparition d'épi ; 50 % Po : Floraison Mâle (50% pollen) ; D_{Ap}.Soie : Délai d'Apparition de soie.

3-2. Effets des irradiations sur les paramètres de production de maïs blanc

Les valeurs moyennes des paramètres de production étudiés en fonction des différentes lignées de maïs blanc sont présentées dans le **Tableau 2**. Dans ce tableau les différences ont été très hautement significatives ($p < 0,001$) sur l'ensemble des paramètres de production.

3-2-1. Masse de l'épi avec les spathes

Une variation de 62,35 g à 89,84 g a été observée pour la masse de l'épi dans le **Tableau 2**. Les masses les plus élevées ont été obtenues avec les plantes issues du témoin L01_{D0} (89,84 g). Cependant, les plus faibles masses ont été enregistrées avec les plantes de la lignée L46_{D300} (62,35 g).

3-2-2. Masse de l'épi sans les spathes

Les valeurs les plus élevées ont été induites par les plantes de L01_{D0} (77,46 g) et celles les plus faibles ont été enregistrées avec les plantes de la lignée L46_{D300} (54,37 g) (**Tableau 2**). Les masses des épis des lignées (L04_{D200}, L46_{D300} ; L72_{D300} ; L103_{D200} ; L104_{D200}) ont été intermédiaires.

3-2-3. Masse de 100 grains

Le **Tableau 2** indique la masse des 100 grains qui varie de 19,66 g à 26,10 g. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec les plantes la lignée L04_{D200} (26,10 g) et celles les plus faibles ont été obtenues avec les plantes de la lignée L103_{D200} (19,66 g).

3-2-4. Longueur des épis

La longueur de l'épi a oscillé entre 9,14 g et 12,80 g (**Tableau 2**). Les valeurs les plus élevées ont été induites par les plantes du témoin L01_{D0} (12,80 g) et celles les plus faibles ont été enregistrées avec les plantes de la lignée L46_{D300} (9,14 g).

3-2-5. Diamètre de l'épi

Le **Tableau 2** présente les diamètres de l'épi les plus élevées produits par les plantes de la lignée L04_{D200} (42,28 mm) et celles les plus faibles ont été induites par les plantes du témoin L01_{D0} (35,94 mm).

3-2-6. Remplissage des épis

Les épis ont été relativement bien remplis avec les plantes des lignées L46_{D300} et L103_{D200} (échelle 1) (**Tableau 2**). Par contre, les épis ont été mal remplis avec les plantes de la lignée L01_{D300} (échelle 1,61).

3-2-7. Nombre de grains par épi

Une variation de 243,39 à 288,16 grains a été observée (**Tableau 2**) pour le nombre de grains par épi. Les valeurs les plus élevées ont été induites par les plantes de la lignée L01_{D0} (288,16 grains) alors que les plus faibles ont été produites avec les plantes de lignée L04_{D200} (243,39 grains).

3-2-8. Rendement

Les rendements présentés dans le **Tableau 2** montre les plus élevés obtenus avec les plantes issues du témoin L01_{D0} (2,33 t/ha) et les plus faibles avec les plantes issues de la lignée L103_{D200} (1,53t/ha).

Tableau 2 : Valeurs moyennes des paramètres de production étudiés en fonction des différentes lignées de maïs blanc

Modalité	MEASP (g)	MESSP (g)	M100G (g)	LngE (cm)	DE (mm)	RPL	NGPE	Rdt(t/ha)
L1 _{D0}	89,84 ^a ± 18,6	77,46 ^a ± 18,2	25,92 ^a ± 1,4	12,80 ^a ± 1,2	35,94 ^a ± 1,7	1,61 ^a ± 1,2	288,16 ^a ± 19,8	2,33 ^a ± 0,4
L04 _{D200}	89,04 ^a ± 18,5	61,30 ^c ± 7,2	26,10 ^a ± 1,8	9,58 ^d ± 1,1	42,28 ^a ± 1,8	1,42 ^b ± 0,5	243,39 ^e ± 18,1	1,98 ^b ± 0,4
L46 _{D300}	62,35 ^c ± 15,1	54,37 ^d ± 15,6	22,44 ^b ± 2,0	9,14 ^d ± 0,9	37,76 ^d ± 3,0	1,00 ^d ± 0,0	246,79 ^e ± 20,2	1,73 ^c ± 0,46
L72 _{D300}	87,44 ^b ± 17,9	65,60 ^c ± 14,0	22,84 ^b ± 1,8	11,34 ^b ± 1,2	35,85 ^e ± 1,5	1,38 ^b ± 0,5	252,53 ^c ± 20,1	1,80 ^c ± 0,4
L103 _{D200}	84,40 ^a ± 15,6	71,90 ^b ± 14,7	19,66 ^c ± 2,4	10,24 ^c ± 0,7	40,67 ^b ± 2,0	1,00 ^d ± 0,0	250,08 ^d ± 19,0	1,53 ^d ± 0,35
L104 _{D200}	78,78 ^b ± 18,2	66,09 ^c ± 15,6	22,74 ^b ± 1,7	10,11 ^c ± 1,2	39,09 ^c ± 2,4	1,21 ^c ± 0,5	227,53 ^b ± 20,0	1,60 ^{cd} ± 0,37
F	16,94	12,56	69,22	68,63	63,95	7,47	16,86	22,9
P (< 0,05)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

MEASP : Masse de l'épi avec les spathes, MESSP : Masse de l'épi Sans Spathes, M100G : Masse de 100 graines, LngE : longueur de l'épi, DE : diamètre de l'épi, RPL : remplissage de l'épi, NGPE : nombre de grains par épi, Rdt : Rendement. P = Probabilité associée à la statistique ANOVA ; F = constance de la variable de test de Fisher.

3-3. Corrélation entre les paramètres étudiés

Outre les corrélations (**Tableau 3**) positives qui sont somme toute logiques, il y a celles qui ont été négatives et intéressantes. Il s'agit des corrélations entre les paramètres de floraison, NGPE (nombre de grains par épis) et le rendement (Rdt).

Tableau 3 : Valeurs des coefficients de corrélation entre les paramètres de floraison et de production des plantes de maïs blanc de six lignées

	MEASP	MESSP	M100G	LngE	DE	RPL	NGPE	Rdt	DAP_Pan	DAP_Ep	50%Po	DAP.Soie
MEASP												
MESSP	0,71											
M100G	0,38	0,06										
LngE	0,63	0,83	0,33									
DE	0,07	-0,24	-0,08	-0,66								
RPL	0,72	0,48	0,85	0,73	-0,32							
NGPE	0,39	0,62	0,39	0,81	-0,54	0,59						
Rdt	0,45	0,38	0,86	0,66	-0,36	0,87	0,80					
DAP_Pani	0,04	-0,33	-0,42	-0,54	0,49	-0,38	-0,87	-0,75				
DAP_Epi	0,10	-0,20	-0,56	-0,52	0,58	-0,48	-0,79	-0,80	0,96			
50%Po	0,26	-0,28	-0,27	-0,46	0,57	-0,22	-0,69	-0,57	0,92	0,92		
DAP_Soie	0,43	0,12	-0,43	-0,21	0,50	-0,20	-0,57	-0,60	0,87	0,94		0,89

Les moyennes en gras sont significatives suivant la corrélation de Pearson ; DE : diamètre de l'épi, LngE : longueur de l'épi ; M100G : Masse de 100 graines, NGPE : nombre de grains par épi, RPL : remplissage de l'épi, MEASP : Masse de l'épi avec les spathes, MESSP : Masse de l'épi Sans Spathes, Rdt : Rendement, DAP.Pa: Délai d'Apparition de panicule ; DAP.Epi : Délai d'Apparition de l'épi ; 50 % Po : Floraison Mâle (50 % pollen) ; DAP.Soie : Délai d'Apparition de soie.

3-4. Séparation des plantes des six lignées en fonction des paramètres de floraison et de production

La classification hiérarchique ascendante (**Figure 3**) a permis de séparer les lignées en trois groupes distincts. Le groupe 1 composé de la lignée L01_{D0} a été caractérisé par la précocité de floraison et de production et des épis ayant de gros diamètres. Le deuxième groupe constitué L46_{D300} a été caractérisé par une production moyenne. Quant au groupe 3, renfermant les lignées L04_{D200} ; L72_{D300} ; L103_{D200} ; L104_{D200} caractérisé par une faible capacité de production.

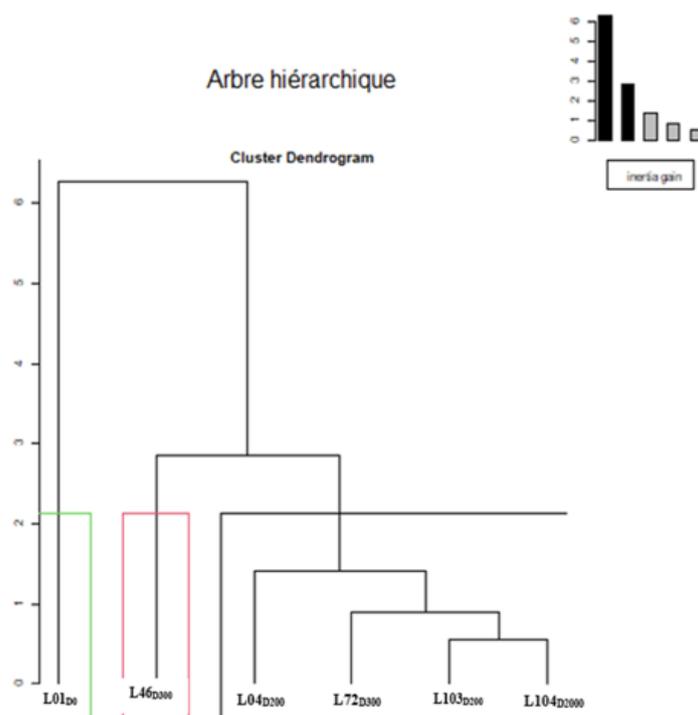


Figure 3 : Classification des traitements en fonction des paramètres de floraison et de production

4. Discussion

La connaissance de la variabilité génétique est essentielle en sélection variétale. En effet, La mise en évidence de cette variabilité pour certains caractères de production constitue une étape indispensable dans la description des ressources génétiques [14]. Par conséquent, il est crucial d'évaluer les performances agronomiques de six lignées de maïs blanc obtenues après irradiation aux rayons gamma aux doses de 200 et 300 grays, afin de mieux comprendre leur potentiel. Dans l'ensemble, le cycle de reproduction des lignées étudiées a généralement montré un délai de floraison plus tardif comparativement à celui du témoin L01_{D0}. En effet, la diversité florale du maïs est due à des mutations spontanées au niveau des locus géniques causés par les irradiations [15]. Il est important de noter que cette expression peut être attribuée aux écarts observés dans l'expression génétique, et cette expression du génome peut être influencée par des facteurs environnementaux externes qui entourent la plante. De plus, cette caractéristique est aussi dû à la capacité de ces lignées à résister à des périodes de sécheresse ou à des périodes de moindre abondance de précipitation [16]. Ces mutations sont fréquentes dans certaines lignées, principalement en raison de rétro-transpositions. Par ailleurs, les rétrotransposons spécifiques sont mobiles chez certaines lignées de maïs, mais pas chez d'autres. Il a été montré que sur 171 accessions de maïs les groupes de maïs précoces et intermédiaires proviennent en générale des zones agro écologiques où la pluviométrie est moins élevée (800 à 1300 mm par an), notamment le Nord et le Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. En revanche les groupes de maïs tardifs et très tardifs proviennent surtout des zones agro écologiques où la pluviométrie est importante (Ouest et Sud-Ouest) (> 2000 mm) [11]. En outre, il existe d'une relation étroite entre la longueur du cycle et la disponibilité en eau [17]. Le pollen et la soie affichent des variations sur leur délai d'apparition allant de 1 à 4 jours, que ce soit entre différentes lignées ou au sein de la même plante (plante monoïque) (**Tableau 1**). Ceci peut s'expliquer par le fait que les cycles de floraison sont très dépendants de la température du sol et de l'humidité relative. Cette variabilité dans le déclenchement de l'inflorescence trouve son origine dans les modifications des cycles de semis-floraison des variétés cultivées [18]. Notre étude a présenté des

corrélations négatives entre les paramètres de floraison, le nombre de grain par épis et le rendement. Cette corrélation négative est causée par un retard au niveau de la floraison, en effet, le décalage temporel entre la disponibilité des soies et la libération du pollen entraîne une inefficacité de la capture du pollen [18]. Cela réduirait également le taux de fécondité et pourrait entraîner une diminution du nombre de grains sur les épis. Les lignées de maïs peuvent présenter une apparition des pollens et de la soie selon trois schémas différents. Premièrement, l'apparition peut suivre l'ordre classique du pollen suivi de la soie, où les pollens sont libérés avant que les soies ne se développent. Deuxièmement, l'apparition peut se produire dans l'ordre inverse, c'est-à-dire que la soie se développe d'abord, suivie de la libération ultérieure des pollens. Enfin, il est également possible que les pollens et les soies apparaissent simultanément, ce qui signifie que les deux processus se produisent en même temps. Ces différents schémas d'apparition des pollens et de la soie contribuent à la complexité et à la diversité du cycle reproductif du maïs [19]. Il conviendrait de souligner que la cohérence entre la libération du pollen et la réceptivité des soies joue un rôle crucial dans la réussite de la fécondation et l'optimisation du rendement. Plusieurs éléments, tels que les conditions environnementales, la génétique de la plante et la gestion culturale, peuvent exercer une influence sur cette synchronisation. L'analyse de variance relative aux performances de production des différentes variétés a révélé des écarts importants entre les valeurs minimales et les valeurs maximales pour l'ensemble des caractères, ce qui témoigne d'une forte variabilité entre les lignées. La forte variabilité significative observée pour le poids total des épis a été rapporté pour la même céréale en Côte d'Ivoire [15, 17]. Le poids des grains dépend entre autres des facteurs génétiques (liés à chaque variété), mais aussi des facteurs environnementaux et des pratiques agronomiques (fertilisation, date et densité de semis, protection antifongique, etc.) [20]. Les rendements en grains les plus élevés ont été obtenus chez la lignée du témoin L01_{D0} (2,33 t/ha) et les plus faibles ont été enregistrés chez la lignée L103_{D200} (1,53 t/ha) (**Tableau 2**). Le rendement relativement faible observé chez la lignée L103, ainsi que d'autres lignées, peut être attribué à un facteur spécifique qui s'est produit pendant l'essai. En effet, une période de sécheresse relativement courte, d'environ 20 jours, s'est produite pendant la phase de maturation des plants de maïs. Cette absence de précipitations aurait eu un impact négatif sur le potentiel de ces variétés testées. La sécheresse pendant cette période critique aurait pu entraîner une diminution de la disponibilité en eau et en nutriments, perturbant ainsi le développement optimal des plants et réduisant leur rendement final. Ces résultats soulignent l'importance d'une gestion adéquate de l'eau et de la résistance à la sécheresse lors de la sélection et de la culture de variétés de maïs, en particulier dans des régions où les conditions climatiques peuvent varier considérablement [21]. Aussi, le fait que ces lignées ont été soumises à des irradiations gamma à différentes doses, impacterait leur production. Les rendements relativement supérieurs observés chez la lignée L01_{D0} peuvent s'expliquer par le fait qu'elle a été originellement sélectionnée pour son originalité et sa capacité à s'adapter à la sécheresse. Dans l'ensemble, le rendement moyen obtenu a été de 1,82 t/ha. Ce rendement est supérieur à celui de la sous-région ouest africaine qui est de 1,7 t/ha [22]. Néanmoins, ce rendement est en-deçà de 4,4 à 5,4 t/ha qui est le rendement des variétés améliorées, avec des intrants recommandés en suivant l'itinéraire technique vulgarisé par la recherche [23]. Ceci peut s'expliquer par les conditions climatiques (pluviométrie, température, humidité relative, etc.) et pédologiques (nature du sol, fertilité du sol, etc.) du milieu d'étude.

5. Conclusion

La présente étude a permis d'évaluer les paramètres agronomiques de six lignées (L01_{D0} ; L04_{D200} ; L46_{D300} ; L72_{D300} ; L103_{D200} ; L104_{D200}) de maïs blanc. Elle s'est tenue au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Cote d'Ivoire). Une comparaison interlignée a été effectuée à travers les paramètres de floraison et de production. Les résultats obtenus ont mis en évidence une variabilité agronomique considérable parmi les différentes lignées de maïs blanc. Cette variabilité a permis de structurer les lignées en trois groupes

homogènes. Le groupe 1 composé de la lignée L01₀₀ (témoin), caractérisé par la précocité de floraison et de production et des épis ayant de gros diamètres. Le deuxième groupe constitué de L46_{D300} a été caractérisé par une production moyenne. Quant au groupe 3, renfermant les lignées L04_{D200}, L72_{D300}, L103_{D200} et L104_{D200}, il a été caractérisé par une faible capacité de production. Ces résultats permettront d'orienter les sélectionneurs sur d'autres pistes d'amélioration de la productivité du maïs blanc en Côte d'Ivoire. Notamment l'utilisation d'autres techniques de sélection tel que le rétrocroisement.

Références

- [1] - P. REVILLA, M. L. ALVES, V. ANDELKOVIC, C. BALCONI, I. DINIS, P. MENDES-MOREIRA, R. REDAELLI, J. I. RUIZ DE GALARRETA, M. C. VAZ PATTO, S. ŽILIC and R. A. MALVAR, Traditional Foods from Maize (*Zea mays* L.) in Europe, *The journal Frontiers in Nutrition*, 8 (2022) 1 - 17
- [2] - A. MAËL, Diagnostic hydrique et estimation de la production de la culture de maïs : vers la mise en place d'un service tout temps. Sciences agricoles. Thèse unique, Université Paul Sabatier — Toulouse III (Toulouse, France), 261 p.
- [3] - H. A. N'DA, L. AKANVOU, C. K. KOUAKOU, Gestion locale de la diversité variétale du maïs (*Zea mays* L.) violet Tagouana au Centre-Nord de la Côte d'Ivoire, *International Journal of Biology Chemical Science*, Vol. 7, N° 5 (2013) 2058 - 2068
- [4] - FAOSTAT, Cultures annuelles. Rapport final, (2020) 46 p.
- [5] - M. E. P. HOOPEN, A. MAÏGA, Production et transformation du maïs, Collection Pro-Agro, (2012) 31 p., <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.918.70>
- [6] - ASSOHOON-DJENI N. M. C. ASSOHOON-DJENI, N. T. DJENI, S. MESSAOUDI, E. LHOMME, M. KOUSSEMON-CAMARA, OUASSA T. OUASSA, CHOBERT J. M. CHOBERT, B. ONNO, X. DOUSSET, Biodiversity, dynamics and antimicrobial activity of lactic acid bacteria involved in the fermentation of maize flour for doklu production in Côte d'Ivoire ; Food Control journal homepage : *Food Control*, 62 (2016) 397 - 404
- [7] - C. K. KOUAKOU, L. AKANVOU, Y. A. KONAN & A. MAHYAO, Stratégies paysannes de maintien et de gestion de la biodiversité du maïs (*Zea mays* L.) dans le département de Katiola, Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences*, 33 (2010) 2100 - 2109
- [8] - Faostat. <http://www.fao.org/faostat/fr/data/QC> (2018). Consulté le 20 octobre 2020
- [9] - P. S. BOONE, J. D. CHARLES & R. L. WANZIE, Évaluation sous-régionale de la chaîne de valeurs du maïs. Rapport technique ATP n°1, Bethesda, MD. Projet ATP, 02Abt Associates Inc, (2008) 73 p.
- [10] - A. A. MISSIHOUN, C. AGBANGLA, H. ADOUKONOU-SAGBADJA, C. AHANHANZO and R. VODOUHE, Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin, *International Journal of Biological Chemical Sciences*, 6 (2012) 1003 - 1018
- [11] - H. A. N'DA, L. AKANVOU, R. AKANVOU & B. I. A. ZORO, Évaluation de la diversité agro-morphologique des accessions de maïs (*Zea mays* L.) collectées en Côte d'Ivoire, *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol. 20 N°6 (2014) 3144 - 3158
- [12] - T. R. STEFANIAK and K. E. MCPHEE, Lentil International : Grain Legumes (Ed.: A.M. De Ron). *Springer*, New York, USA, (2015) 111 - 140
- [13] - D. SORO, K. AYOLIE, G. B. Z. FERDINABD, Y. FERDINAND, K. K. HIPPOLITTE, B. SYDIKY, T. A. PASC and Y. J. KOUADIO, Impact of organic fertilization on maiz (*Zea mays* L.) Production in a ferralitic soil of Centre —West Côte d'Ivoire, *Journal of Experimental Biology and Agriculture Science (JEBAS)*, Vol. 3, N°6 (2015) 556 - 565
- [14] - L. RADHOUANE, Etude de la variabilité morpho-phénologique chez *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br, *Plant Genetic Resources Newsletter*, 138 (2004) 18 - 22

- [15] - H. K. DOONER, Q. WANG, J. T. HUANG, Y. LI, L. HE, W. XIONG and C. DU, Spontaneous mutations in maize pollen are frequent in some lines and arise mainly from retrotranspositions and deletions, *Agricultural Sciences*, 116 (22) (2019) 10734 - 10743
- [16] - B. GWENNAËL, Gènes architectes et sexualité chez les plantes : À la découverte des fleurs de tomate stamenless. *Revue des Questions Scientifiques*, Vol 184, N°3 (2013) 351 - 372
- [17] - M. BATTUDE, Estimation des rendements, des besoins et consommations en eau du maïs dans le sud-ouest de la France : apport de la télédétection à hautes résolutions spatiale et temporelle, Thèse unique, Université de Toulouse, (2015) 254 p.
- [18] - K. P. DEFFAN, L. AKANVOU, R. AKANVOU, G. J. NEMLIN & P. L. KOUAME, Evaluation Morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (*Zea mays* L.) produites en Côte d'Ivoire, *Afrique Science*, 11 (3) (2015) 181 - 196
- [19] - A. A. MOUSSA, V. K. SALAKO, D. S. J. C. GBEMAVO, M. ZAMAN-ALLAH, R. G. KAKAÏ, Y. BAKASSO, Performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées de maïs au sud-ouest du NIGER, *African Crop Science Journal*, Vol. 26, N°2 (2018) 157 - 173
- [20] - FAO, Le maïs dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition n° 25. <http://www.fao.org/> (Consulté le 10/05/2022 à 02h13mn), (1993)
- [21] - O. A. MOUSSA, I. H. BIL-ASSANOU, A. M. SOULE, A. MAHAMANE, M. SAADOU, M. ZAMAN-ALLAH, Relationship between maize (*Zea mays* L.) yield and yield components under water deficit conditions. *Afrique Science*, Vol. 16, N°1 (2020) 21 - 29
- [22] - M. SMALE, D. BYERLEE and T. JAYNE, Maize revolution in Sub-Saharan Africa. Document de travail sur la recherche politique, Banque mondiale, Washington DC, *USA AgEcon Search*, N° 5659 (2011) 47 p.
- [23] - A. A. MOUSSA, V. K. SALAKO, G. D. S. J. CHARLEMAGNE, M. ZAMAN-ALLAH, R. G. KAKAÏ & Y. BAKASSO, Performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées de maïs au Sud-Ouest du Niger, *African Crop Science Journal*, 26 (2) (2018) 157 - 173



(RESEARCH ARTICLE)



White Maize (*Zea Mays* L., 1753) six new lineages Agro-morphological performance In Cote D'Ivoire

Chigata Lohona SORO *, Brahim TRAORE, Yao Jacques Edouard KOUADIO, Sopie Edwige-Salomé YAPO, Ahou Nadia KANGA and Yatty Justin KOUADIO

Department of Biology and Physiology, Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), UFR Agroforestry, Genetics, Agricultural Production Improvement Laboratory, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

World Journal of Advanced Research and Reviews, 2025, 25(02), 184-194

Publication history: Received on 20 December 2024; revised on 31 January 2025; accepted on 02 February 2025

Article DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.2.0317>

Abstract

Côte d'Ivoire produced 1,176,000 corn tons in 2020. In cereal harvest terms this represents 41%. Thus, for Ivorian populations food self-sufficiency, maize plays a crucial role. Due to that importance and in a national production dropping context, this study objective was to compare six new lines of white colored corn. For that, lineages L1D0, L4D200, L46D300, L72D300, L103D200 and L104D200 phylogenetic resources were used. Their agro-morphological and production characteristics have been evaluated. A significant diversity between studied lineages was highlighted. Ascending hierarchical classification (AHC) revealed that this variability is structured into 3 groups. Thus, group 1 (L46 and L104) characterized by lineages involving small plants with reduced insertion heights, leaf lengths and surface. Then Group 2 (L1(EV8728), L71, L103), not influenced by any factor. Group 3 (L4) contains plants with large diameters and lodging sensitivity high index. Regarding production parameters, 3 Sets were identified. Set 1 (L04, L72, L103 and L104), characterized by high values for variables linked to silk appearance, 50% of pollen released, spike and panicle appearance. Set 2 (L46) showed low spike weight. Set 3 included EV8728(L1), characterized by spike grain number high values. Within this study limits, these results can contribute to a maize productivity program improvement in Côte d'Ivoire.

Keywords: Corn; Food Self-sufficiency; Production; Trait

1. Introduction

Food security is a major concern in developing countries. However, potential exists considering food resources. A wide crop diversity is grown, and cereals occupy a prominent place¹ among which corn (*Zea Mays* L.) ranks in the leading group. It is an annual Poaceae (grass) family tropical plant. Corn is a monoecious grass with wide morphological diversity depending on varieties belonging to *Zea* genus which is a Myadaceae tribe representative². In Ivory Coast, corn is the second most cultivated cereal after rice with a production estimated at 1,176,000 tones (t), on 558,406 ha total area³. The average yield is estimated at 2.11 t/ha. Some varieties have great sociocultural value⁴. However, despite local production millions of tons, several issues have been identified at different levels. These are rainy season shortening and rainfall reduction⁵, as well as the soil fertility decline, many pests and diseases presence, leading to a yield drop⁶. All this under the effect of climate change. Indeed, increase by 2°C in average global surface temperature drives to 31% increase in yield losses linked to pest pressure for maize⁷. These different factors are therefore a major problem in large-scale corn production. It is important to emphasize that the general use of traditional varieties with low productivity by farmers in the corn sector considerably reduces yield. Thus, to improve national maize yield, it is essential to develop and promote the use of improved varieties with high production potential, using conventional breeding methods⁸. Thus, the application of the conventional method absolutely makes it possible to develop pure lines whose agronomic

* Corresponding author: Chigata Lohona SORO

characteristics understanding is necessary for new and improved varieties creation which guarantee optimum production under conditions linked to climatic hazards. Furthermore, the mutation technique induced by gamma radiation to create high-performance varieties is of certain interest during the study. It is in this sense that this study general objective is to characterize white corn 6 new lineages induced by EV8728 variety seeds gamma irradiation.

2. Material and methods

This part consists in plot set up and study site agro-morphological parameters Presentation.

2.1. Study site

Study was carried out on Jean Lorougnon Guédé University (UJLoG) experimental site in Daloa, a Côte d'Ivoire town located in central-west region. Also, UJLoG Biology and Improvement laboratory in vitro unit was involved. Daloa, included in Haut-Sassandra region, is located between 6°53'38 north latitude and 6°27'0 west longitude. It's a tropical climate area with average temperature of 27.5 °C and annual rainfall between 1000 and 1500 mm. The experimental plot soil is ferralitic⁹. The first trials were carried out in the field, followed by the second stage in UJLoG plant physiology laboratory.

2.2. Vegetable material

The plant material used for this study consists of fifth corn generation, obtained from fourth generation seeds of the EV8728 variety. This was irradiated with gamma radiation at doses 200 and 300 grays in Austria (Seibers Dorf). A color change took place during the different successive self-fertilizations; it was white and red colored corn. These seeds were obtained after four cycles of self-fertilization. Pollen from non-irradiated EV8728 was also used. These lines studied are:

White: L1D0; L4D200; L46D300; L72D300; L103D200; L104D200.

2.3. Technical equipment

Several technical materials were necessary. This consists of hoe and machete for weeding, then measuring tape for plant height, leaves width and length. Included also, a plots boundary stakes, a caliper for collar diameter, a permanent marker pen for leaves count. Post-harvest data collection involved a graduated ruler ears length measurement as well as a sensitive balance for different corncob weight.

2.4. Plot set up

An experimental plot of 194.56 m² (12.8 m × 15.2 m) was used for trial implementation. Thus, a completely randomized Fisher block was designed with three repetitions. The area of each repetition is 56.32 m² (12.8 m × 4.4 m) with 1 m distance between two repetitions. This entire system is completely randomized. Each repetition has 17 lines, each 0.8 m apart. Each line contains twelve pockets spaced 0.4 m apart due to two seeds per pocket. The distance between the three blocks is 1 meter. To carry out these tests, a hoe and a machete were necessary for manual weeding. Sowing was done on parallel sowing lines associated with a drip watering system. 14 days after the sowing, a young plant removal was done, which led to one plant per pocket.

2.4.1. Plot fertilization and maintenance

One week after the sowing, the plot was amended with urea, then with NPK two weeks later. Manual weeding of the plot is carried out twice until production. The plot is equipped with a drip irrigation system.

2.4.2. Obtaining seeds

The seeds used in this experiment were obtained after four plant self-fertilization cycles obtained from EV8728 variety seeds which were irradiated with gamma radiation. The different seeds generations were labelled as follows: M0 represents the initial EV8728 variety irradiated seeds, M1 is the first-generation seeds, M2 the second, M3 the third, M4 the fourth, and M5 the fifth generation of seeds.

2.4.3. Plot set up and sowing phase

Plots establishment began with site cleaning followed by splitting and measurement. The sowing was subsequently carried out by burying four (04) grains per pocket. Two (02) weeks later, weeding was finally done to leave only two (02) plants per pocket.

2.4.4. Plot Maintenance and fertilization

The trial site and its surroundings were regularly kept clean by manual weeding. It was fertilized with urea 46% two (2) weeks after sowing, then with NPK15-15-15 in a quantity of 7.5 g per plant two (2) weeks after urea application. Manual weeding of the plot was done twice.

2.4.5. Self-pollination

For the pollination, following operations were conducted

- Cover each plant ear by using a glassine paper envelope, before the silks appear
- Place a panicle bag (pollination bag) the day before pollination, to collect the pollen from the male flower (panicle).
- The next morning, bend over and lightly shake the plant to collect the pollen in the panicle bag.
- Remove the glassine paper protection wrapping female plant silks and pollinate the silks using pollen from panicle bag.
- Immediately cover silks using the glassine paper envelope; as well as panicles using panicle bag; this until harvest.
- Carry out pollination before the temperature reaches 36 °C.

2.4.6. Measured parameters

Different mutants' agro-morphological characterization was done using growth and production parameters. In fact, measurements were carried out on a sample of 45 plants selected randomly on each line, i.e. 15 plants per repetition. The sampling was done taking one plant on three for the entire plot. This allowed us to evaluate the emerging rate over a period of 10 days from the third day after sowing. It was determined by taking the ratio (raised seeds number per line divided by the total number of seeds sown on the line) and during the 10 days (Equation (EQ.) 1).

$$TLJ (\%) = \frac{NGGj}{NGS} \times 100 \dots \dots \dots (EQ. 1)$$

TLJ: daily lifting rate

NGGj: daily germinated seeds number

NGS: number of sown seeds

2.5. Growth parameters

The growth parameters used to evaluate morphological characteristics were plant heights, collar diameters, ear insertion heights and lodging resistance index as well as leaves number, their lengths and widths. These measurements began 7 days after planting using a tape measure (height) and a caliper (diameter).

2.5.1. Plant height

Plant height (HP), expressed in centimeter (cm) was determined by measuring the distance from the stem base at the collar (at the soil line) to the spikelet insertion point at plant top.

2.5.2. Corncob (Ear) insertion height

Cob Insertion Height (HIE) was determined by measuring the distance between the crown and the Ear Insertion point on stem.

2.5.3. Collar Diameter

Collar diameter (DC) was measured at stem base, in the plant last internode (i.e. 1 to 2 cm above the ground).

2.5.4. Lodging sensitivity index

These parameters made it possible to determine the lodging sensitivity index (ISV) using equation 2¹⁰. When the results tend towards 1, the plant resists lodging.

$$ISV = \frac{HIE}{HP} \dots \dots \dots (EQ. 2)$$

ISV: Lodging sensitivity index
HIE: ear insertion height
HP: plant height

2.5.5. Leaf length

Plant Leaf length (LongF) was measured as follows. It starts with the leaf sheath wrapped on plant stem to leaves tips.

2.5.6. Leaf Width

Leaf Width (LargF) is a measurement determined at leaf median. These different parameters helped to measure the Leaf surface according to method described by equation 3 and noted in cm². It was estimated by making the product of LongF and LargF, according to¹¹.

$$SF (cm^2) = LongF \times LargF \times 0,75 (EQ.3)$$

SF: Leaf surface

2.5.7. Leaves Numbers

Leaves number was obtained by counting from germination until spikelet appearance, on a weekly basis.

2.5.8. Production parameters

Production parameters were used to evaluate lineages productivity.

They are among others

- Corn cob weight (me) determined using a precision weighing.
- Cob length (LE), obtained by measuring the ear from the base to the top.
- Cob diameter (DE) measured using a caliper placed at cob center.
- Line number per cob (NL), determined by counting
- Grains number per line (NGL), estimated by counting
- Seeds (grain) total number in a cob (NGE), obtained by multiplication between grain number per line and lines number (NGL x NL)
- 100 seeds weight of a cob (M100G), determined by weighing 100 seeds.
- Cob grain filling (RE), got from different cobs observation. Then a scale of 1 to 3 is assigned to the different filling levels, 1-Completely filled, 2-Moderately full; 3: Slightly filled cob.

3. Results and discussion

The results relate to the six (6) corn lineages agro-morphological characterization.

3.1. Seed germination rate

Seed germination rate curve, as a time function for the different lineages, shows a difference in their evolution (Figure 1). Rate curve, for all lineages, increased from 3 till six days. Then it stabilized over time from 7 to 10 days after seedling. Control L1(T0) germination rate was significantly higher than the five (5) other lines, with a maximum percentage of 85.41% after 10 days. Then came L46, followed by L104, L72, L103 and L4 with the lowest rate. Statistical analysis reveals clearly significant differences between corn lines. The difference expressed in seeds germination could reflect a heterogeneity in seeds quality which would mainly result from their health and physiological states given that they were irradiated at different doses. Grain emerging date is vegetative or growth phase start. Maize lines have the same coleoptile appearance dates ranging from 3 to 6 days. Similar results were found by¹² which indicate that the emergence date for corn is between 6 and 10 days. L04 line is the only one with the lowest germination rate. This may be due more to lineage than seed condition, given that all corn lines were grown under same conditions (sowing depth, soil condition and climatic constraints). Indeed, cultivation techniques and conditions influence germination and therefore the number of plants¹². In Contrary to this observation, ¹³reported the favorable effect of seed size on seedling emergence.

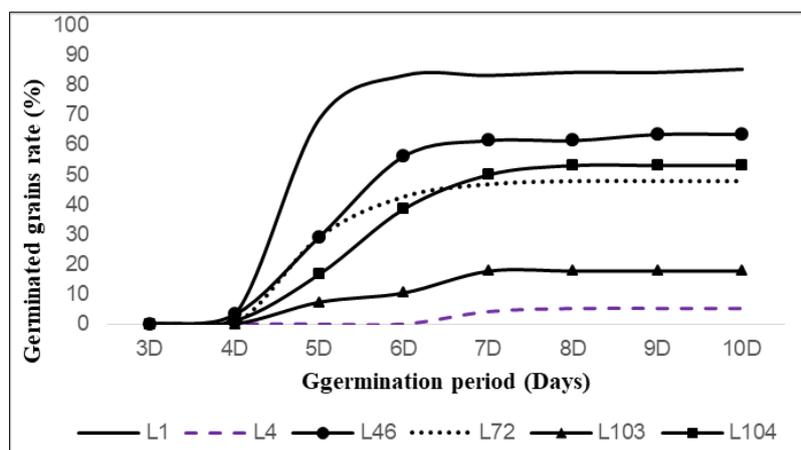


Figure 1 Corn seeds germination rate evolution

3.2. Lineages caulogenics parameters Comparison

Different lines cultivation in field (trial site) results are recorded in Table I. Statistical analysis showed that lineages growth and development relative caulogenic characters presented a very highly significant difference ($p < 0.01$). Differences are observed between corn lines quantitative variables mean values for studied characters, such as plant height (H), spike insertion height (HIE), lodging sensitivity index (ISV) and collar diameter (DC). Analysis was conducted with Tukey's HSD test at the 5% threshold.

3.2.1. Plant height

The average variation in height between corn lines is presented in Table I. The analysis classified corn lines into six groups with a highly significant difference ($p < 0.0001$). L1; L72; L4; L103; L46 and L104 lines respectively obtained H of 154.15 ± 14.3 ; 152.18 ± 18.3 ; 148.68 ± 22.2 ; 135.03 ± 16.9 ; 133.23 ± 15.3 and 129.21 ± 10.9 cm. Thus, all new lineages were found to be smaller compared to the control. Indeed, L1 produced the greatest height with an average of 154.15 ± 14.3 cm, compared to 129.21 ± 10.9 cm for L104, the line having provided the smallest average height. The control is 1.3% taller than L72 (152.18 ± 18.3 cm) and 19.3% larger than L104.

3.2.2. Cobs insertion height

In terms of spike insertion heights, Analysis grouped corn lines into five groups with a highly significant difference ($p < 0.001$) (Table 1). L4; L1; L72; L103; L46 and L104 lines respectively obtained HIEs of 85.13 ± 7.9 ; 72.92 ± 14.3 ; 71.42 ± 15.5 ; 65.1 ± 17.8 ; 62.85 ± 14.9 and 58.45 ± 13.5 cm. These results indicate that the insertion heights vary from 85.13 ± 7.9 cm (L4) to 58.45 ± 13.5 cm (L104) among lineages. Thus, L4 line presented the highest HIE and was therefore 16.7% higher than L1 control (72.92 ± 14.3 cm).

3.2.3. Collar Diameter

Regarding collar diameter, statistical analysis grouped corn lines into three groups with a highly significant difference ($p < 0.001$) (Table 1). L4; L1; L72; L46; L104 and L103 lines respectively obtained DC of 21.07 ± 3.7 ; 18.01 ± 3 ; 17.09 ± 3.1 ; 15.18 ± 2.6 ; 14.57 ± 2.8 and 14.4 ± 2.7 mm. The largest average diameter was obtained by the L4 line (21.07 ± 3.7 mm), while L104 had the smallest diameter (14.4 ± 2.7 mm). L4 is 16.9% greater in diameter than control L1 (18.01 mm).

3.2.4. Lodging sensitivity index

Regarding the lodging sensitivity index (ISV), analysis recorded a highly significant difference ($p < 0.0001$) between the lines. L4; L103; L1; L72; L46 and L104 lines respectively obtained ISVs of 0.58 ± 0.1 ; 0.47 ± 0.2 ; 0.47 ± 0.1 ; 0.46 ± 0.1 ; 0.46 ± 0.1 and 0.44 ± 0.1 . Lineage L4 recorded the highest average ISV, compared to the lowest obtained by L104. L4 has on average an ISV 23.4% higher than the control L1. Means Comparison drove to identify three (3) different groups (Table 1).

Table 1 Maize lines caulogenic characters analysis results

Lineages	H(cm)	HIE (cm)	DC (mm)	ISV
L4 _{D200B}	148,68 ± 22,2 ^b	85,13 ± 7,9 ^a	21,07 ± 3,7 ^a	0,58 ± 0,1 ^a
L1 _{D0B}	154,15 ± 14,3 ^a	72,92 ± 14,3 ^b	18,01 ± 3 ^b	0,47 ± 0,1 ^{bc}
L72 _{D300B}	152,18 ± 18,3 ^{ab}	71,42 ± 15,5 ^b	17,09 ± 3,1 ^b	0,46 ± 0,1 ^{bc}
L103 _{D200B}	135,03 ± 16,9 ^c	65,1 ± 17,8 ^c	14,4 ± 2,7 ^c	0,47 ± 0,2 ^b
L46 _{D300B}	133,23 ± 15,3 ^{cd}	62,85 ± 14,9 ^{cd}	15,18 ± 2,6 ^c	0,46 ± 0,1 ^{bc}
L104 _{D200B}	129,21 ± 10,9 ^d	58,45 ± 13,5 ^d	14,57 ± 2,8 ^c	0,44 ± 0,1 ^c
F	34,48	36,98	62,60	29,34
P (< 0,05)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P = Tests Approximate Probability; F = Fisher Constant Means followed by same letter are significantly identical at 5% threshold. H: Plant height; HIE: Cob insertion height; ISV: Lodging Susceptibility Index; DC: Collar Diameter.

3.2.5. lineages phylogenetic parameters Comparison

The results on corn lineages phylogenetic parameters are recorded in Table 2. It showed a highly significant difference ($p < 0.01$) for growth and development characters. Were concerned, corn lines quantitative variables average values for different characters, such as leaves Number (NF), Leaf areas (SF), Leaf lengths (LonG) and Leaf widths (LarG).

3.2.6. leaves Number

In terms of leaves number, statistical analysis showed a highly significant difference ($p < 0.0001$) between lines. Values obtained by L4; L104; L46; L72; L1; L103; and lines are respectively 21.71 ± 1.3 ; 21.29 ± 1.1 ; 20.58 ± 1.3 ; 20.43 ± 1 ; 20.08 ± 1.2 and 19.06 ± 0.7 leaves. Tukey's HSD test at the 5% threshold classified the lines into six (6) groups (Table 2). The highest HSD was given by L4 while the lowest was from L103. It appeared that L4, L104, L46, L72 recorded greater H values than the control L1. Thus, L4 was 8.1% higher in H than L1.

3.2.7. Leaf surface

Concerning leaf surface, statistical analysis showed a highly significant difference ($p < 0.0001$) between corn lines. SF collected data for L4; L72; L1; L104; L103 and L46 are respectively 520.57 ± 104.7 ; 479.19 ± 86.3 ; 458.09 ± 71.8 ; 428.94 ± 78.9 ; 421.35 ± 59.3 and 418.1 ± 67.2 cm². Corn lines were classified into three groups (Table 2). Variation in photosynthetic surface area showed values between 520.57 cm² (L4), highest average, and 418.1 cm² (L46), lowest average. L4 and L72 were found to be greater in SF than L1 (control), respectively at 13.6% and 4.6%, while L103 got a smaller 103 than L1. However, L46, L103 and L104 SFs were inferior to L1 one. L46, L103 and L104 obtained similar SFs.

3.2.8. Leaf lengths

Regarding leaf lengths, Tukey's HSD test at the 5% threshold showed a highly significant difference ($p < 0.0001$) between lineages. Average values obtained by L4; L103; L1; L72; L104 and L46 are respectively 85.16 ± 9.8 ; 84.06 ± 6.8 ; 83.13 ± 6 ; 80.92 ± 7.7 ; 77.536 ± 7.8 and 74.01 ± 7 cm. Corn lines were classified into four groups (Table 2). It appeared that L4 dominated the other lineages which was weakest, L46. L4 and L103 lines were found to be higher in LongF than L1, at 2.4% and 1.1% respectively. Furthermore, L46, L72 and L104 lines were found to be smaller in LongF than the control.

3.2.9. Leaf widths

In terms of leaf width, statistical analysis showed a highly significant difference ($p < 0.0001$) between corn lines. Values obtained by L4; L72; L46 L1; L104 and L103 are respectively 8.08 ± 0.7 ; 7.86 ± 0.8 ; 7.51 ± 0.7 ; 7.33 ± 0.8 ; 7.12 ± 1 and 6.66 ± 0.5 cm. Tukey's HSD test at the 5% threshold classified the lines into four (4) groups. Thus, the highest leaf width was obtained with plants from line L4, while L103 recorded the lowest. L4, L72 and L46 lines revealed a higher average LargF than L1, up to 10.2%, 7.2% and 2.4% respectively. Furthermore, L103 and L104 lines were found to be smaller than the control. Finally, L1 and L72 obtained similar results for LargF.

Growth and development variables statistical analysis showed that corn lines differ from each other by plant height, cob insertion height, lodging sensitivity index, collar diameter, leaves number and leaf surface. The morphological diversity thus expressed shows that among cultivated corn varieties, morphological differentiation is often based on agronomic traits. Indeed, according to¹⁴, this morphological diversity structuration shows that in cultivated corn, morphological differentiation is often based on agronomic traits. Following, it was observed a difference in size with control for maize lines. That could express specificities due to grain color and even nutritional specificities. This agrees with the work of¹⁵ who showed that there would be variability between morphotypes for size, leaves number, leaf area for different colors seeds.

Table 2 Growth and development of relative phylogenetic characters analysis results

Lineages	NF	SF (cm ²)	LongF (cm)	LargF (cm)
L4 _{D200}	21,71 ± 1,3 ^a	520,57 ± 104,7 ^a	85,16 ± 9,8 ^a	8,08 ± 0,7 ^a
L1 _{D0}	20,08 ± 1,2 ^d	458,09 ± 71,8 ^b	83,13 ± 6 ^b ^c	7,33 ± 0,8 ^b
L72 _{D300}	20,43 ± 1 ^{cd}	479,19 ± 86,3 ^b	80,92 ± 7,7 ^a	7,86 ± 0,8 ^b
L103 _{D200}	19,06 ± 0,7 ^e	421,35 ± 59,3 ^c	84,06 ± 6,8 ^d	6,66 ± 0,5 ^d
L46 _{D300}	20,58 ± 1,3 ^c	418,1 ± 67,2 ^c	74,01 ± 7 ^b	7,51 ± 0,7 ^b
L104 _{D200}	21,29 ± 1,1 ^b	428,94 ± 78,9 ^c	77,536 ± 7,8 ^c	7,12 ± 1 ^c
F	53,93	22,38	27,58	32,26
P (< 0,05)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

P = Approximate Probability of Tests F = File Constant Average values followed by the same letter are significantly identical at the 5% threshold. NF: Number of sheets; SF: Leaf area of the Plant; LongF: Leaf Length; LargF: Leaf width

3.3. lineages diversity structure

3.3.1. Correlation between characters

Matrix analysis (Table 3) revealed significant correlations (≥ 0.50) between certain pairs of characters. Thus, positive and highly significant correlations were established between:

- Corncob insertion height (HIE) and collar diameter (DC) (0.64).
- Lodging sensitivity index (ISV) and DC (0.51).
- HIE and plant final height (0.66).
- ISV and HIE (0.81).
- SF and LargF (0.61).
- SF and LongF (0.57).

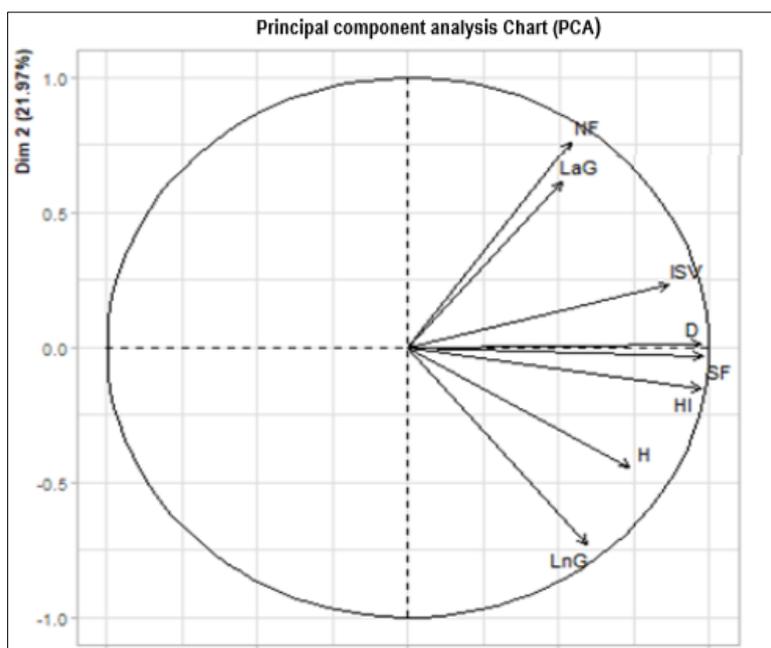
3.3.2. Diversity Structuration by principal component analysis (PCA) and agro-morphological performance

Table 3 Correlation between quantitative variables

	D	H	HIE	ISV	LargF	LongF	NF	SF
D								
H	0.4875							
HIE	0.6418	0.6634						
ISV	0.5065	0.1258	0.8192					
LargF	0.3613	0.1251	0.2131	0.1988				
LongF	0.1894	0.1882	0.2283	0.1569	0.3783			
NF	0.2925	0.0324	0.1740	0.2260	0.2057	- 0.0738		
SF	0.3647	0.2104	0.2865	0.2179	0.6147	0.5787	0.1115	

H : plant height ; HIE : cob insertion height ; ISV : lodging sensitivity index; DC : collar diameter, NF : leaves number ; SF : leave surface; LongF : leaf length ; LargF : leaf width

Variables projection in the factorial plan revealed that they are well represented (figure 2). Indeed, a variable has a representative quality if it's located on the circle or close to the circle. Furthermore, connections level between different variables is represented by the geometric angles between the arrows. Variables projection in the factorial plan showed that all of them participated in targeted characteristics discrimination. Thus, the morphotypes performance allowed lineages classification. This confirms the correlations revealed by the correlation matrix.



(H: plant height ; HI=HIE : cob insertion height ; ISV : lodging sensitivity index ; D=DC : collar diameter, NF : leaves number ; SF : leave surface ; LnG=LongF : leaf length ; LaG=LargF : leaf width)

Figure 2 Correlation circle between variables

3.3.3. Individual lineages' projection in factorial plan

Lineage projection is shown on plane formed by axes 1 and 2 according to their contribution (Figure 3). This figure presents lineages agro-morphological characters projection on the factorial plan formed by axes 1 and 2 which, together, explain 85.05% of the variability. Examination makes it possible to distinguish 3 groups of statistically distinct individuals whose relative contribution to axes formation is the most important. Group 1 (G1) includes L46 and L104 lines, group 2 (G2) made of L1(EV8728), L71 and L103 while group 3 (G3) component is L4 line. Thus, group 1 was characterized by lines presenting small size with reduced insertion heights, leaf lengths and leaf areas. Group 2 was not influenced by any factor while Group 3 contains large collar diameters plants and a high lodging sensitivity index. Results regarding leaves number and surface highlighted significant diversity. Furthermore, the variability observed during this study can be attributed to irradiation applied to EV8728 variety seeds, used as control. This gamma irradiation caused significant alterations in seed genome, which are responsible for various observed traits. ¹⁶demonstrated that this practice induces random modifications at genome different levels, thus leading to distinct lineages creation which present varied characteristics.

In fact, ¹⁷showed that certain gamma radiation doses have an inhibitory impact on plant development, thus leading to photosynthetic surface shape and leaves number modifications. Similar results were reported by ¹⁸ on *Lepidium sativum*. Indeed, leaves and nodes number as well as plant height decrease with the increase in gamma irradiation dose¹⁸. This ionizing radiation would cause biological effects, mainly DNA and RNA modifications shown by changes such as chain breaks or hydrogen bonds, leading to DNA replication blocking¹⁸. However, ¹⁹specified that gamma radiation low dose (50 and 100 grays) induces an increase in *Canscora decurrens* growth and a nodes number.

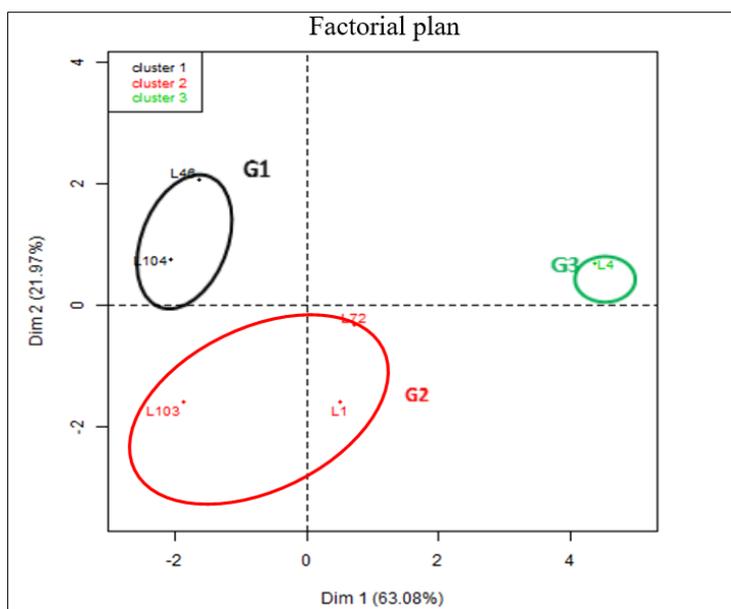


Figure 3 Projection of variables in the factorial design

3.4. Lineages ascending hierarchical classification

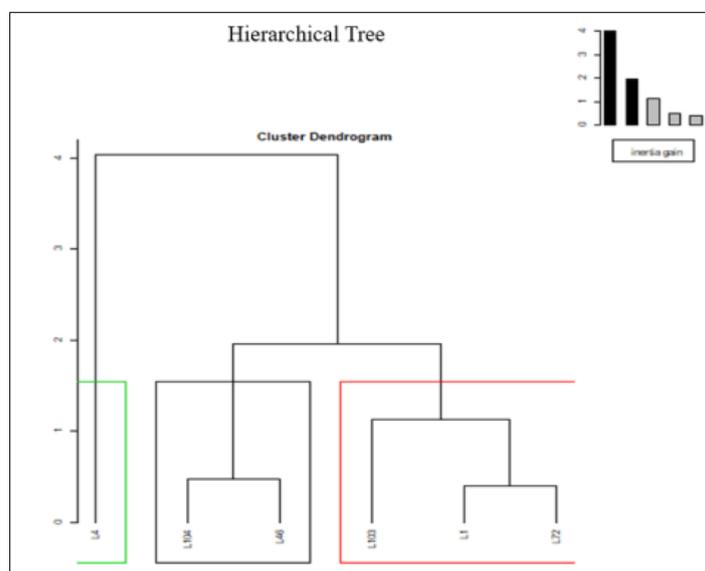


Figure 4 Dendrogram from ascending hierarchical classification

Lineages ascending hierarchical classification (CHA) resulting from principal component analysis was carried out. This CHA aimed to make interpretation completely objective, and to attest a well-defined and homogeneous group existence, at truncation level 1.5 point (figure 4). This confirmed structuration into three statistically distinct lines diversity groups, previously revealed by the PCA. These are G1 (L46 and L104), G2 (L1 (EV8728), L71 and L103) and G3 (L4). This morphological diversity has been structured into several groups which are differentiated by the emergence rate and agro-morphology. Morphological characterization is one of the important steps in cultivated plants description and classification²⁰. Indeed, any program to improve agricultural resources necessarily relies on phenotypic variability²¹. In addition, analysis showed very significant differences between average values for all the characters analyzed not only between the new maize lines but also especially between those lineages and the control for all the parameters considered. These different variations made it possible to highlight corn lines' hetero diversity. This morphological diversity would be linked to each lineage's genetic resources' variability. Similar results were obtained by²² in evaluating agro-morphological diversity of maize accessions collected in Côte d'Ivoire. Furthermore, observed diversity in corn

lines growth characteristics also seems to result from their ability to adjust to the growing environment. Thus, for²³, this strong morphological diversity would result from peasant seed management practices. Indeed, particularly the exchange of varieties between farmers, are the source of significant diversity between populations of cultivated plants²³.

4. Conclusion

The present study evaluated the agro-morphological parameters of 6 corn lines (L1D0 as control and L4D200; L46D300; L72D300; L103D200; L104D200 irradiated from white corn L1D0 (EV8728)). An interline comparison was carried out then these maize lines were compared to the control through morphological parameters. The results obtained highlighted considerable morphological and agronomic variability among the different maize lines. This variability made it possible to structure corn lines into 3 homogeneous groups. Thus, group 1 composed of lines L46 and L104 is characterized by lines with plants presenting small size with reduced insertion heights, leaf lengths and leaf areas. Group 2, L1(EV8728), L71, L103 is not influenced by any factor. Group 3, L4 contains plants with large diameters and a high index of sensitivity to lodging. In terms of recommendations, it should be noted that this variability can be an asset in integrated crop management programs. Indeed, their alternation in cultivation could offer a possibility of fighting against certain corn enemies. In addition, a study on grain yield performance should make it possible to consider new crosses aimed at improving the control variety with, given morphotype L4 specifics caulogenic performances, superior the control one.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

No conflict of interest to be disclosed.

References

- [1] Macauley H., (2015). Cereal Crops: Rice, Maize, Millet, Sorghum, Wheat - Cereal Crops, Feeding Africa-Background paper, 21-23 October 2015, p1 https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/Cereal_Crops-Rice_Maize_Millet_Sorghum_Wheat.pdf
- [2] Doebley J.F. & Iltis H.H. (1980). Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. Subspecific classification with key to taxa. *American Journal of Botany*, 67 : 986-983. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07730.x>
- [3] FAOSTAT (2020). Agricultural production, cropprimarydatabase. Food and agricultural organization of the United Nations, Rome. <http://faostat.fao.org/faostat/> vue on 20/05/2022.
- [4] Kouakou C.K., Akanvou L., Konan, Y.A. & Mahyao A. (2010). Peasant strategies for maintaining and managing maize (*Zea Mays* L.) biodiversity in Katiola department, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 33: 2100 – 2109. Microsoft Word - 9.JAB-370-2010 editor louisBLCKED.doc
- [5] Traoré B., Tonessia D.C., Tiho T. and Pohé J. (2025) Climate variability impact on cotton production in North Cote d'Ivoire, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 25(01), 321-332, PDF 12 p. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.1.4052>
- [6] National Center for Agronomic Research (CNRA) (2006). How to grow corn well in Ivory Coast, Last update July 2023, PDF, 4p, <https://cnra.ci/download/bien-cultiver-le-mais-en-cote-divoire/>
- [7] Yasin, M., Rehman, A. (2021). Impact of Climate Change on Pests and Disease Incidence on Agricultural Crops: A Global Prospective. *Academia Letters*, Article 3667. <https://doi.org/10.20935/AL3667>
- [8] N'da H.A., AKanvou L. & Kouakou C.K. (2013). Local management of varietal diversity of purple Tagouana maize (*Zea Mays* L.) in the North-Central part of Côte d'Ivoire. *International Journal of Biology Chemical Science*, 7(5): 2058-2068. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/102170>
- [9] Soro D., Ayolie K., Ferdinabd G.B.Z., Ferdinand Y.Y., Hippolitte K.K., Sydiky B., Pasc T.A. & Kouadio Y.J. (2015). Impact of organic fertilization on maiz (*Zea Mays* L.) Production in a ferralitic soil of Centre-West of Côte d'Ivoire. *Journal of Experimental Biology and Agriculture Science (JEBAS)*, 3(6): 556-565. https://www.researchgate.net/publication/292589417_Impact_of_organic_fertilization_on_maize_Zea_mays_L_production_in_a_ferralitic_soil_of_centre_-_West_cote_d'ivoire

- [10] Tarantola S., Gatelli D. & Mara T. (2006). Random balance designs for the estimation of first order global sensitivity indices. *Reliability Engineering & System Safety*. 91. 717-727. 10.1016/j.res.2005.06.003. https://www.researchgate.net/publication/229353621_Random_balance_designs_for_the_estimation_of_first_order_global_sensitivity_indices
- [11] Lichtenthaler H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio-membranes. *ScienceDirect*, 148: 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- [12] Deffan K.P., Akanvou L., Akanvou R., Nemlin G.J. & Kouame P.L. (2015). Morphological and nutritional evaluation of local and improved varieties of maize (*Zea Mays L.*) produced in Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 11(3) : 181-196. <https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/120092>
- [13] Massawe F.J., Mwale S.S., Azam A.S.N. & Roberts J.A. (2005). Breeding in Bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.): strategic considerations. *African Journal of Biotechnology*, (6): 463-471. Breeding in bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.): strategic considerations | *African Journal of Biotechnology*
- [14] Hidayat P., Phillips T.W. & Ffrench-Constant R. H., (1996): Molecular and morphological characters discriminate *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and confirm reproductive isolation. *Ann. Entomol. Soc. Am.* (89): 645-652. <https://doi.org/10.1093/aesa/89.5.645>
- [15] Touré Y., Koné M., Silué S. & Yatty J. (2013). Prospecting, collection and agro-morphological characterization of voandzou morphotypes from the savannah zone in Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 9 (24) : 1857-7881. <https://doi.org/10.4236/as.2023.141001>
- [16] Fondio L., Djidji A.H., N'gbesso M.F.D.P. & Koné D. (2013). Evaluation of nine varieties of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) in relation to bacterial wilt and productivity. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(3): 1078-1086. DOI: 10.4314/ijbcs.v7i3.15
- [17] Yapo E.S.S., Soro C.L., Beugre M.M., Soro D., Ayolie K., Konan N.O. & Kouadio Y.J. (2022). Variability of some Agronomic parameters of first generation of maize (*Zea Mays L.*) obtained by irradiating seeds to different doses of gamma radiation. *International Journal of Current International Journal of Current Research*, 13(03): 316-328. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.13.3.0176>
- [18] Abdul M., Asif U.R.K., Habib A. & Zahir M. (2010). Gamma irradiation effects on some growth parameters of *Lepidium sativum L.* *Agricultur Biological Science*, 5(1): 39-42. https://www.arpnjournals.com/jabs/research_papers/rp_2010/jabs_0110_172.pdf
- [19] Yadav V. (2016). Effect of gamma radiation on various growth parameters and biomass of *Canscora decurrens Dalz.* *International Journal of Herbal Medicine*, 4(5): 109-115. <https://www.florajournal.com/archives/2016/vol4issue5/PartB/5-1-5-475.pdf>
- [20] Radhouane L. (2004). Study of morpho-phenological variability in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 138: 18-22. https://www.researchgate.net/publication/328602408_Etude_de_la_variabilite_morpho-phenologique_chez_Pennisetum_glaucumLRBr
- [21] Smith S.E., Doss A.A. & Warburton M. (1991). Morphological and agronomic variation in North African and Arabian alfalfas. *Crop Science*, 31: 1159-1163. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100050016x>
- [22] N'da H.A., Akanvou L., Akanvou R. & Zoro Bi I.A. (2014). Assessment of the agro-morphological diversity of maize (*Zea Mays L.*) accessions collected in Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 20(3) : 3144-3158. <https://www.m.elewa.org/JAPS/2014/20.3/2.pdf>
- [23] Barnaud, A., Joly, H. I., McKey, D., Deu, M., Khasah, C., Monné, S., & Garine, E. (2008). Management of sorghum (*Sorghum bicolor*) genetic resources among the Duupa (Northern Cameroon). *Cahiers Agricultures*, 17(2), 178-182 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2008.0170>, DOI: <https://doi.org/10.1684/agr.2008.0170>.